

Edificios

Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización 5

Guía técnica

Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas

Guía técnica

Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas

TÍTULO

Guía técnica sobre procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas

CONTENIDO

Esta publicación ha sido redactada por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con el objetivo de promocionar la eficiencia en el uso final de la energía en los edificios.

.....

Esta publicación está incluida en el fondo editorial del IDAE, en la serie “Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización”.

Cualquier reproducción, parcial o total, de la presente publicación debe contar con la aprobación por escrito del IDAE.

Depósito Legal: M-8046-2007

ISBN: 978-84-96680-10-4

.....

IDAE
Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
C/ Madera, 8
E-28004-Madrid
comunicacion@idae.es
www.idae.es

Madrid, febrero de 2007

ÍNDICE

Presentación	5
1 Objeto y campo de aplicación	7
2 Fundamentos teóricos	9
2.1 Combustión	9
2.2 Combustibles	10
2.3 El aire como comburente	13
2.4 Estudio de la combustión a partir del análisis de los gases	15
2.5 Inquemados	16
2.6 Formación de contaminantes	17
2.7 Analizadores de gases	20
3 El cálculo del rendimiento energético	21
3.1 Determinación del rendimiento por el calor útil aportado al agua (método directo)	22
3.2 Determinación del rendimiento por las pérdidas en caldera y gases de combustión (método indirecto)	22
4 Procedimiento de inspección de la eficiencia energética de una caldera 25	
4.1 Condiciones de toma de medidas	25
4.2 Equipos de medida	26
4.3 Intervalos de valores admisibles de los niveles de emisión	26
4.4 Determinación del rendimiento energético de la caldera	27
4.5 Mantenimiento	28
4.6 Acta	28
5 Inspección de la eficiencia energética de instalaciones de generación de calor equipadas con calderas de más de 15 años de antigüedad	29
5.1 Consumo de combustible en calefacción	30
5.2 Consumo de combustible en la preparación de agua caliente sanitaria	30
5.3 Rendimiento estacional	31
5.4 Calderas	32
5.5 Aislamiento térmico	33
5.6 Regulación y control	33
5.7 Contabilización de consumos	34
5.8 Mantenimiento	34

Apéndice I: Zonas climáticas	35
Apéndice II: Recomendaciones técnicas	36
Apéndice III: Cuestionario de Inspección Periódica de eficiencia energética de calderas	38
Apéndice IV: Cuestionario de Inspección de instalaciones de más de 15 años	39
Apéndice V: Bibliografía	40

PRESENTACIÓN

El nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) transpondrá parcialmente la Directiva 2002/91/CE, de 16 de diciembre, relativa a la eficiencia energética de los edificios, fijando los requisitos mínimos de eficiencia energética que deben cumplir las instalaciones térmicas de los edificios nuevos y existentes, y un procedimiento de inspección periódica de calderas y de los sistemas de aire acondicionado.

El Reglamento se desarrolla con un enfoque basado en prestaciones u objetivos, es decir, expresando los requisitos que deben satisfacer las instalaciones térmicas sin obligar al uso de una determinada técnica o material, ni impidiendo la introducción de nuevas tecnologías y conceptos en cuanto al diseño, frente al enfoque tradicional de reglamentos prescriptivos que consisten en un conjunto de especificaciones técnicas detalladas, que presentan el inconveniente de limitar la gama de soluciones aceptables e impiden el uso de nuevos productos y de técnicas innovadoras.

Así, para justificar que una instalación cumple las exigencias que se establecen en el RITE podrá optarse por una de las siguientes opciones:

- adoptar soluciones basadas en las Instrucciones Técnicas, cuya correcta aplicación en el diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento y utilización de la instalación, es suficiente para acreditar el cumplimiento de las exigencias; o
- adoptar soluciones alternativas, entendidas como aquellas que se apartan parcial o totalmente de las Instrucciones Técnicas. El proyectista o el director de la instalación, bajo su responsabilidad y previa conformidad de la propiedad, pueden adoptar soluciones alternativas, siempre que justifiquen documentalmente que la instalación diseñada satisface las exigencias del RITE porque sus prestaciones son, al menos, equivalentes a las que se obtendrían por la aplicación de las soluciones basadas en las Instrucciones Técnicas.

Por esta razón, el IDAE con el fin de facilitar a los agentes que participan en el diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento e inspección de estas instalaciones, ha promovido la elaboración de una serie de guías técnicas de ahorro y eficiencia energética en climatización, que desarrollen soluciones alternativas.

En concreto, la que nos ocupa, titulada “Procedimiento de Inspección periódica de eficiencia energética para calderas” pretende servir como punto de partida para facilitar un procedimiento de inspección.

NOTA: En este documento todas las menciones al Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios se refieren al último borrador disponible, de 31 de julio de 2006.



Objeto y campo de aplicación

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) establece que las instalaciones térmicas y, en particular, sus equipos de generación de calor y frío y las instalaciones solares térmicas, se inspeccionarán periódicamente a lo largo de su vida útil, con el fin de verificar el cumplimiento de la exigencia de eficiencia energética de ese RITE. La ITE 4 desarrolla el contenido de ese mandato, estableciendo las exigencias técnicas y procedimientos a seguir en las inspecciones a efectuar en las instalaciones térmicas objeto de ese RITE.

La razón de establecer un procedimiento de inspección periódica de la eficiencia energética para estos generadores obedece a la premisa de que toda instalación de transformación de energía sobre la que no se efectúe sus correspondientes operaciones de mantenimiento reduce su rendimiento energético y, con ello, se incrementa tanto su consumo específico de energía como sus emisiones asociadas de sustancias contaminantes a la atmósfera.

La ITE 4 del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) establece la inspección periódica de eficiencia energética de 3 tipos de instalaciones:

IT 4.2.1 Inspección de los generadores de calor

Serán inspeccionados los generadores de calor de potencia térmica nominal instalada igual o mayor que 20 kW.

La inspección del generador de calor comprenderá:

- Análisis y evaluación del rendimiento
- Inspección del registro oficial de las operaciones de mantenimiento que se establecen en la IT.3, relacionadas con el generador de calor y de energía solar térmica, para verificar su realización periódica, así como el cumplimiento y adecuación del

“Manual de Uso y Mantenimiento” a la instalación existente.

- La inspección incluirá la instalación de energía solar, en caso de existir, y comprenderá la evaluación de la contribución solar mínima en la producción de agua caliente sanitaria y calefacción solar.

IT 4.2.2 Inspección de los generadores de frío

Serán inspeccionados periódicamente los generadores de frío de potencia térmica nominal instalada mayor que 12 kW.

La inspección del generador de frío comprenderá:

- Análisis y evaluación del rendimiento.
- Inspección del registro oficial de las operaciones de mantenimiento que se establecen en la IT.3, relacionadas con el generador de frío, para verificar su realización periódica, así como el cumplimiento y adecuación del “Manual de Uso y Mantenimiento” a la instalación existente.
- La inspección incluirá la instalación de energía solar, en caso de existir, y comprenderá la evaluación de la contribución de energía solar al sistema de refrigeración solar.

IT 4.2.3 Inspección de la instalación térmica completa

Cuando la instalación térmica de calor o frío tenga más de 15 años de antigüedad, contados a partir de la fecha de emisión del primer certificado de la instalación, y la potencia térmica nominal instalada sea mayor que 20 kW en calor o 12 kW en frío, se realizará una inspección de toda la instalación térmica, que comprenderá, como mínimo, las siguientes actuaciones:

- Inspección de todo el sistema relacionado con la exigencia de eficiencia energética regulada en la IT.1 de este RITE.
- Inspección del registro oficial de las operaciones de mantenimiento que se establecen en la IT.3, para la instalación térmica completa y comprobación del cumplimiento y la adecuación del “Manual de Uso y Mantenimiento” a la instalación existente.
- Elaboración de un dictamen con el fin de asesorar al titular de la instalación, proponiéndole

mejoras o modificaciones de su instalación, para mejorar su eficiencia energética y contemplar la incorporación de energía solar. Las medidas técnicas estarán justificadas en base a su rentabilidad energética, medioambiental y económica.

Esta guía va dirigida a las calderas de producción de agua caliente alimentadas por combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, e instaladas en edificios para satisfacer las demandas de calefacción y de agua caliente sanitaria de los usuarios.

2

Fundamentos teóricos

El nivel de eficiencia energética de una caldera es función tanto de la combustión que se genera en su seno como del aparato que conforma la caldera, y envuelve la combustión y trata de extraer y transferir hacia el agua la energía que es capaz de generar el combustible antes de que sus gases de combustión salgan por el conducto de evacuación o chimenea.

A la hora de establecer los criterios para definir el procedimiento de inspección de calderas desde el punto de vista de su eficiencia energética, se debe tener presente que:

- Combustión y Caldera están íntimamente correlacionados: la eficiencia de la transmisión de energía del combustible al agua es función, por un lado, de la calidad de la combustión y, por otro, de la capacidad y efectividad de la caldera como intercambiador de calor. Ambos factores dependen, a su vez, del estado de mantenimiento y conservación de la combustión - por su grado de puesta a punto -, y del nivel de limpieza de la superficie libre de intercambio, afectada por incrustaciones y hollines que puedan aislar su capacidad de transmisión de calor.
- Esta correlación alcanza su máxima eficacia si el quemador asociado a la caldera cumple sus distintos cometidos:
 - Proporcionar el combustible a la cámara de combustión en condiciones de ser quemado.
 - Aportar el aire necesario a la cámara de combustión.
 - Mezclar íntimamente el aire y el combustible.
 - Encender, mantener la llama y quemar la mezcla.
 - Adaptar la llama a la geometría de la cámara de combustión.

- Desplazar los productos de la combustión hacia la salida de los humos.

A continuación se presentarán los aspectos más relevantes de la combustión en calderas y de las pautas para evaluar su eficiencia energética.

2.1 COMBUSTIÓN

Conocemos por oxidación a la reacción del oxígeno con una sustancia, reacción que se produce por término general con desprendimiento de calor, y utilizamos este término cuando dicha unión se efectúa en un proceso lento como, por ejemplo, la oxidación del hierro o la putrefacción de la madera. En casos como estos el calor se disipa en el medioambiente sin que aumente la temperatura del cuerpo que se oxida.

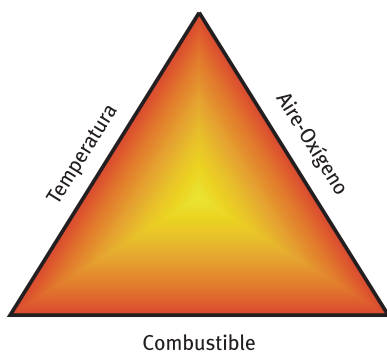
Sin embargo, cuando este proceso es rápido, la reacción se produce con un gran aumento de su temperatura llegando incluso al estado de incandescencia, de emisión de luz, y entonces esa reacción de oxidación se conoce como combustión.

Existen situaciones que pueden hacer que las sustancias puedan entrar en combustión de forma espontánea: si la oxidación de la sustancia se efectúa de forma tal que el calor generado se disipa a su alrededor más lentamente que como se produce, la temperatura de la sustancia irá aumentando gradualmente hasta alcanzar el valor de su temperatura de inflamación, momento en el que la sustancia arderá espontáneamente.

Con esta introducción vemos que son tres los requisitos que deben coexistir y combinarse para que se produzca la combustión:

- 1 La existencia de combustible, como aquella sustancia que tiene gran afinidad para combinarse con el oxígeno.
- 2 La presencia de aire, y más concretamente del oxígeno contenido en él, como agente que provoca esa reacción exotérmica. Se le suele denominar comburente, como el agente que combinado con un combustible provoca su combustión.
- 3 La adecuada temperatura, cuyo valor influye de forma directamente proporcional en la velocidad de la reacción de oxidación/combustión.

Estos 3 requisitos están íntimamente correlacionados en toda combustión: para una determinada temperatura de combustión existe una proporción exacta de combustible y comburente que determina la reacción óptima, de tal forma que desviaciones sobre estos valores modifica la calidad de la combustión hasta el extremo de que la ausencia de uno cualquiera de estos tres impide que se produzca la misma. Al analizar la forma de combatir y apagar un incendio, estos tres requisitos definen el denominado triángulo del fuego, que visualiza las vías para reducir o eliminar el área de fuego que encierra el triángulo. Bastará ir disminuyendo el valor de uno sólo de los lados del triángulo para reducir y extinguir la combustión:



- Eliminando el combustible, como se hace cuando impedimos que el fuego avance hacia nuevas sustancias.
- Eliminando el oxígeno, como se hace ahogando la combustión con arena, una manta o la espuma de un extintor.
- Enfriando las sustancias combustibles, al objeto de ralentizar y detener la reacción de oxidación, como se hace cuando se le arroja agua.

No todas las sustancias arden o se queman con la misma facilidad. Las hay que necesitan predisponerse

mediante precalentamientos o mediante la presencia de otros reactivos que faciliten la combustión; pero para definir un combustible como tal no sólo deberemos analizar su facilidad de combustión, sino añadir otras cualidades que lo habiliten de una forma genérica para su empleo como son:

- La abundancia para su comercialización.
- La facilidad de manipulación que no entrañe riesgos.
- La simplicidad de su composición molecular que minimice el impacto ambiental de sus residuos.

Por ejemplo, el hidrógeno o el fósforo son extraordinarios combustibles que reaccionan vivamente en presencia del aire, pero su costoso proceso de obtención, elevado riesgo en su trasiego y la toxicidad de los gases de combustión del segundo, hacen inviable su aplicación como combustibles comerciales.

2.2 COMBUSTIBLES

Desde la antigüedad el hombre ha venido utilizando como combustible la madera y los residuos vegetales, e incluso el petróleo en aquellos países donde se conocía, a los que se fueron añadiendo los carbones de origen mineral hasta llegar a los combustibles actuales: los derivados por refinado del petróleo y el gas natural. El nexo de unión de todos estos productos (denominados orgánicos por proceder de la transformación lenta en la naturaleza de la materia orgánica) es la existencia del elemento carbono en su composición, combinado en formas diversas con hidrógeno (hidrocarburo) y otras sustancias que pueden, posteriormente, participar o no en la combustión.

Los combustibles más representativos por su aplicación en el sector de la edificación son el gas natural, los gases licuados del petróleo (GLP), el gasóleo C, el carbón y la madera-biomasa.

- El gas natural es una mezcla de gases obtenidos directamente de la naturaleza en yacimientos, donde el metano (CH_4) constituye más del 70% de su composición. Otros gases que pueden estar presentes en proporciones apreciables son el nitrógeno (hasta el 20%) y el etano (C_2H_6 , hasta el 10%).
- Los gases licuados del petróleo (GLP) son mezclas de hidrocarburos en los que mayoritariamente predominan el propano (C_3H_8) y el butano (C_4H_{10}), obtenidos como primera fracción del refinado de

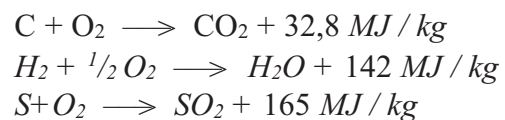
petróleo o directamente de yacimiento junto al gas natural, siendo este último el origen más abundante. A temperatura y presión ambiente su estado es gaseoso, pero se pueden licuar a presiones no excesivamente altas, lo que facilita su transporte y almacenamiento en forma líquida a presión. Comercialmente hablando, cuando nos referimos al Propano se trata de una mezcla del 80% de hidrocarburos C_3 y un máximo del 20% en hidrocarburos C_4 , siendo el Butano una mezcla de un 80% de hidrocarburos C_4 y un máximo del 20% de hidrocarburos C_3 .

- El gasóleo C se impuso en España en el año 1975 como sustitución del consumo de fuelóleo en las ciudades por razones medioambientales. Forma la fracción más pesada de la familia de los gasóleos, obtenidos por craqueo en la destilación fraccionada del petróleo y extraídos en la fracción que se encuentra entre el keroseno y el fuelóleo. El gasóleo C está formado por hidrocarburos de 16 a 25 átomos de carbono, a diferencia de los gasóleos A y B, más ligeros (dodecanos $C_{12}H_{26}$) y destinados para su uso en motores (automoción, agricultura/pesca y cogeneración).
- El carbón que habitualmente conocemos por esta definición es el de origen mineral, a diferencia del de leña o vegetal. Comercialmente, y por razones medioambientales, se utilizan los carbones duros, totalmente carbonizados, tipo antracita, donde el contenido en carbono supera el 70%, frente a los blandos, no totalmente formados, tipo lignitos y turba. El carbón posee en su composición molecular proporciones elevadas de azufre, que se oxida en la combustión a óxidos de azufre (SO_2 y SO_3) que, en presencia del vapor de agua de la combustión, terminan por reaccionar hacia ácido sulfúrico (H_2SO_4), bien en la propia caldera, corroyendo su fondo y el conducto de evacuación de los productos de la combustión o la propia chimenea, bien una vez expulsado a la atmósfera formando con la humedad ambiental la denominada lluvia ácida. Aunque quizás la mayor presión que se ha ejercido por algunas administraciones para sustituir las instalaciones de carbón ha sido por la dificultad de conseguir una combustión completa y limpia, ausente de inquemados y otras materias que son emitidas a la atmósfera en forma de partículas sólidas.
- La madera como combustible ha evolucionado desde la combustión directa de los productos de la poda - cuando no de la tala de árboles - hacia lo que hoy agrupamos bajo la denominación de biomasa: residuos forestales o de la industria de la madera (serrín, virutas) y agrícolas (residuos procedentes

del sector oleícola, cascarilla de arroz, cáscara de almendra), comercializados en forma de pellets o en granulado. Un objetivo de la política energética es que la biomasa experimente un crecimiento muy importante durante los próximos años, en línea con lo establecido en el Plan de Energías Renovables 2005-2010 (PER).

La cualidad energética que diferencia a los distintos combustibles, incluso para su valorización comercial, es su poder calorífico. Cada tipo de combustible tiene una distinta composición molecular, y su reacción con el oxígeno libera distintos niveles de energía térmica, provocando esta cualidad que los distingue.

Los combustibles utilizados en el sector de la edificación están formados básicamente por carbono e hidrógeno, con posibles trazas de azufre y otros elementos. Las principales reacciones que tienen lugar en la combustión, con la energía térmica producida, son:



El balance térmico de las reacciones del conjunto de los componentes del combustible constituye su poder calorífico, que se define como la cantidad de calor generado por la combustión completa de una unidad de masa de éste, estando el combustible y el comburente a una temperatura y presión de referencia.

Puesto que casi todos los combustibles poseen hidrógeno entre sus elementos y, como hemos visto, el resultado de su oxidación es la producción de agua, en función del estado físico en que se disperse este agua hacia el exterior de la caldera, como vapor en los gases de combustión o como líquido una vez cedido su calor latente de condensación, podremos hablar de Poder Calorífico Superior (PCS) o Poder Calorífico Inferior (PCI) del combustible. Así pues:

- Poder Calorífico Superior, PCS, se define cuando el agua proveniente del combustible o formada durante la combustión se encuentra en su totalidad en estado líquido en los productos de combustión. Incluye por tanto el calor cedido por la condensación del agua contenida en los productos de combustión, que es de 597,2 kcal/kg (2,50 MJ/kg).
- Poder calorífico Inferior, PCI, se define cuando toda el agua proveniente del combustible o formada durante la combustión se encuentra como vapor en los productos de combustión.

No comprende el calor de condensación, y su valor, lógicamente, es inferior al PCS.

vapor de agua y recuperar el calor latente de transformación vapor/líquido.

Desde el punto de vista de la combustión, el PCI es el que habitualmente da una idea más real del proceso de combustión, dado que en la mayoría de aplicaciones la temperatura de los humos a la salida de la caldera ($t_h > 100\text{ °C}$) hace que el agua formada en la combustión escape en forma de vapor a la atmósfera. No ocurre así con las calderas de condensación, cuya denominación proviene de hacer enfriar los gases de combustión antes de su expulsión a la atmósfera al objeto de condensar al

A continuación, se indican los valores medios de PCI y PCS de los principales combustibles, queriendo destacar que estos valores pueden variar con la mezcla de componentes del combustible que utilizemos en cada momento, dato que puede ser facilitado por el proveedor del mismo. La observación de los valores de las tablas siguientes nos permite apreciar dos aspectos que se han comentado sobre las propiedades de los combustibles:

COMBUSTIBLES SÓLIDOS

	Densidad	kcal/kg	PCI		PCS MJ/kg
	kg/m ³		kWh/kg	te/kg	
Antracita	875 ⁽¹⁾	8.194	9,53	8,19	34,30
Madera seca	s.d	4.539	5,28	4,54	19,00
Madera húmeda	s.d	3.440	4,00	3,44	14,40

(1) Carbón desmenuzado

COMBUSTIBLES LÍQUIDOS

	Densidad	kcal/kg	PCI		PCS MJ/kg
	kg/m ³		kWh/kg	te/kg	
GLP Propano	506 ⁽¹⁾	11.073	12,88	11,07	46,35
GLP Butano	580 ⁽¹⁾	10.939	12,72	10,94	45,79
Queroseno	780	10.368	12,06	10,37	43,40
Gasóleo C	850	10.099	11,74	10,10	42,28
Fuelóleo nº 1	944	9.699	11,28	9,70	40,60

(1) Densidad en estado líquido a 20 °C

COMBUSTIBLES GASEOSOS

	Densidad RELATIVA ⁽¹⁾	kcal/m ³	PCI		PCS MJ/m ³
			kWh/m ³	te/m ³	
Gas natural	0,63 ⁽²⁾	9.228	10,73	9,23	38,63
Gas ciudad	0,65	4.037	4,69	4,04	16,90
Propano	1,85 ⁽³⁾	20.484	23,8	20,5	85,7
Butano	2,41 ⁽³⁾	26.253	30,5	26,3	109,9

(1) Densidad relativa en función de la del aire. Para obtener la densidad real multiplicar por 1,29 kg/m³ en condiciones normales, o por 1,19 kg/m³ a 20 °C

(2) Variable para cada yacimiento, entre 0,58 y 0,66 en condiciones normales

(3) Densidad relativa a 20 °C

- A medida que la estructura molecular es más compleja aparecen cadenas alifáticas con dobles y triples enlaces e, incluso, cadenas aromáticas, lo que representa tener mayor contenido de carbono en detrimento del hidrógeno. Eso se traduce, por un lado, en una mayor densidad del combustible y, por otro, en un menor poder calorífico por unidad de peso. (Vimos que el hidrógeno, más ligero, genera más calor en su oxidación que el carbono).
- Esta misma cualidad hace que la relación PCS/PCI vaya disminuyendo cuando la estructura va siendo más compleja (menos hidrógeno > menos agua > menor PCS), lo cual nos va a permitir predefinir qué tipo de combustible tiene más opciones de rentabilidad energética y económica en la condensación de los gases de combustión: el gas natural.

Con esta relación, por cada unidad de oxígeno que haya que suministrar a la combustión se necesitarán $100/20,95 = 4,77$ unidades de aire en volumen, o $100/23,15 = 4,32$ unidades de aire en peso.

Se considera que el nitrógeno no tiene reacciones durante el proceso de combustión: es inerte. Sin embargo, este elemento sometido a temperaturas por encima de $1.000\text{ }^{\circ}\text{C}$, como ocurre en algunas cámaras de combustión, reacciona con el oxígeno formando pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno NO_x .

A la presión atmosférica (1 bar ó 101.325 kPa a nivel del mar) y a la temperatura de $273\text{ }^{\circ}\text{K}$ ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) una masa de 1 kgmol de un gas ocupa $22,41\text{ m}^3$, de acuerdo con la ecuación de los gases perfectos. La variación de temperatura hace que este volumen varíe, de acuerdo a la misma ecuación ($V=22,41\cdot T/273$), hacia los siguientes valores:

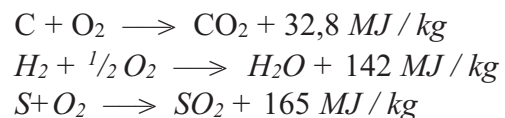
Temperatura	$0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$10\text{ }^{\circ}\text{C}$	$15\text{ }^{\circ}\text{C}$	$20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$25\text{ }^{\circ}\text{C}$
Volumen m^3	22,41	22,81	23,22	23,63	24,04	24,45

2.3 EL AIRE COMO COMBURENTE

El oxígeno necesario para la combustión se obtiene normalmente del aire, que es una mezcla de oxígeno, nitrógeno y pequeñas cantidades de otros componentes. A efectos de cálculo de los procesos de combustión es suficiente considerar que la composición del aire seco es, en volumen, de un 20,95% de oxígeno y un 79,05% de inertes (nitrógeno, argón, etc.) y expresado en peso, de un 23,15% de oxígeno y un 76,85% de inertes.

La cantidad exacta de aire que hace falta para conseguir una combustión completa se denomina aire estequiométrico.

Retomando las fórmulas de las reacciones de combustión expuestas anteriormente:



Vemos que:

1 mol de C reacciona con 1 mol de O_2 para producir 1 mol de CO_2
 1 mol de H_2 reacciona con $\frac{1}{2}$ mol de O_2 para producir 1 mol de H_2O
 1 mol de S reacciona con 1 mol de O_2 para producir 1 mol de SO_2

Conociendo que el peso molecular del carbono es 12 g/mol , del oxígeno es 32 g/mol , del hidrógeno es 2 g/mol y del azufre es 32 g/mol ,

podemos establecer los siguientes valores de combustión:

12 kg de C reaccionan con 32 kg de O_2 y producirán 44 kg de CO_2
 2 kg de H_2 reaccionan con 16 kg de O_2 y producirán 18 kg de H_2O
 32 kg de S reaccionan con 32 kg de O_2 y producirán 64 kg de SO_2

De esta forma podemos conocer:

- 1 Cuánto oxígeno se necesita para que se desarrolle una combustión completa, que lo podremos convertir en unidades de aire con las proporciones anteriores.
- 2 La cuantía de los productos de la combustión, como suma de la cuantía de los elementos que participan de forma proporcionada en la reacción. Esta es la forma de determinar, por ejemplo, el impacto en CO₂ de una combustión en la atmósfera. Para este caso de combustión completa, por cada kg de carbono que contenga un combustible se emitirán a la atmósfera $44/12 = 3,67$ kg de CO₂.

Los cálculos de combustión para combustibles sólidos y líquidos suelen hacerse empleando las masas, mientras que para los combustibles gaseosos se suelen emplear los volúmenes.

Los requerimientos de oxígeno y aire en régimen de combustión estequiométrica para algunos combustibles elementales son los que se relacionan en la siguiente tabla:

puedan, acto seguido, reaccionar con el oxígeno. Esta primera acción de rotura de enlaces moleculares no sólo necesita energía (por eso se suele precisar una llama inicial) sino tiempo, lo que justifica la dificultad de quemar plenamente un fuelóleo (cadenas aromáticas) frente al gas natural (la más simple cadena alifática).

Entre las reacciones incompletas, la más importante es la formación de monóxido de carbono:



En este caso, parte de la energía calorífica de la combustión del carbono no se desprende y escapa en forma de monóxido de carbono, lo que representa no sólo un riesgo tóxico sino un despilfarro energético, como se puede observar comparando el calor de oxidación de esta reacción con la del CO₂.

Según esto, se entiende como combustión incompleta aquella en que algún componente del combustible no ha llegado al grado de oxidación máximo y no se obtiene la totalidad del poder calorífico disponible en el combustible. Estos productos que no alcanzan el grado máximo de combustión se denominan inquemados.

Sustancia	Reacción	Relaciones estequiométricas			
		en peso ⁽¹⁾		en volumen ⁽²⁾	
		oxígeno	aire	oxígeno	aire
Carbono	$C + 0,5 O_2 > CO$	1,33	5,75	-(3)-	-(3)-
Carbono	$C + O_2 > CO_2$	2,66	11,51	-(3)-	-(3)-
Hidrógeno	$H_2 + 0,5 O_2 > H_2O$	7,94	34,30	0,50	2,39
Metano	$CH_4 + 2 O_2 > CO_2 + 2 H_2O$	3,99	17,24	2,00	9,57
Etano	$C_2H_6 + 3,5 O_2 > 2 CO_2 + 3 H_2O$	3,72	16,07	3,50	16,75
Propano	$C_3H_8 + 5 O_2 > 3 CO_2 + 4 H_2O$	3,63	15,68	5,00	23,95
Butano	$C_4H_{10} + 6,5 O_2 > 4 CO_2 + 5 H_2O$	3,58	15,46	6,50	31,14
Acetileno	$C_2H_2 + 2,5 O_2 > 2 CO_2 + H_2O$	3,07	13,26	2,50	11,96
Azufre	$S + O_2 > SO_2$	1,00	4,32	-(3)-	-(3)-
Azufre	$S + 1,5 O_2 > SO_3$	1,50	6,48	-(3)-	-(3)-

(1) kg de comburente por kg de combustible

(2) m³ de comburente por m³ de combustible

(3) El combustible está en estado sólido en las condiciones consideradas

En la realidad, si sólo se suministra el aire teórico, la reacción no se lleva a cabo completamente por falta de tiempo para que se produzca toda la reacción dentro de la cámara de combustión, dando origen a reacciones incompletas. Pensemos que el combustible que se introduce en una caldera primero debe romperse molecularmente (romper los enlaces entre sus distintos átomos) hasta liberar sus elementos en radicales que

Por tanto, resulta necesario proporcionar un exceso de aire al combustible para aumentar la posibilidad de que reaccione rápida y totalmente dentro de la cámara de combustión, antes de que alcance zonas más frías de la caldera donde no se completaría la combustión. El aire estequiométrico, más el exceso de aire, se denomina aire total, o aire real, de la combustión.

A la relación entre el aire realmente usado en la combustión y el aire teórico correspondiente al combustible se llama índice o coeficiente de exceso de aire, y se representa por n .

$$n = \frac{\text{aire real}}{\text{aire teórico}} > 1$$

El índice de exceso de aire puede expresarse también en forma porcentual, así un valor de $n = 1,2$ representa también un exceso de aire del 20%.

La necesidad de aportar exceso de aire a la combustión significa que parte del oxígeno introducido no encontrará carbono u otros elementos para reaccionar y abandonará la caldera junto con los gases de la combustión. La cantidad de oxígeno contenido en los gases de la combustión es un indicador de la cantidad de exceso de aire empleado.

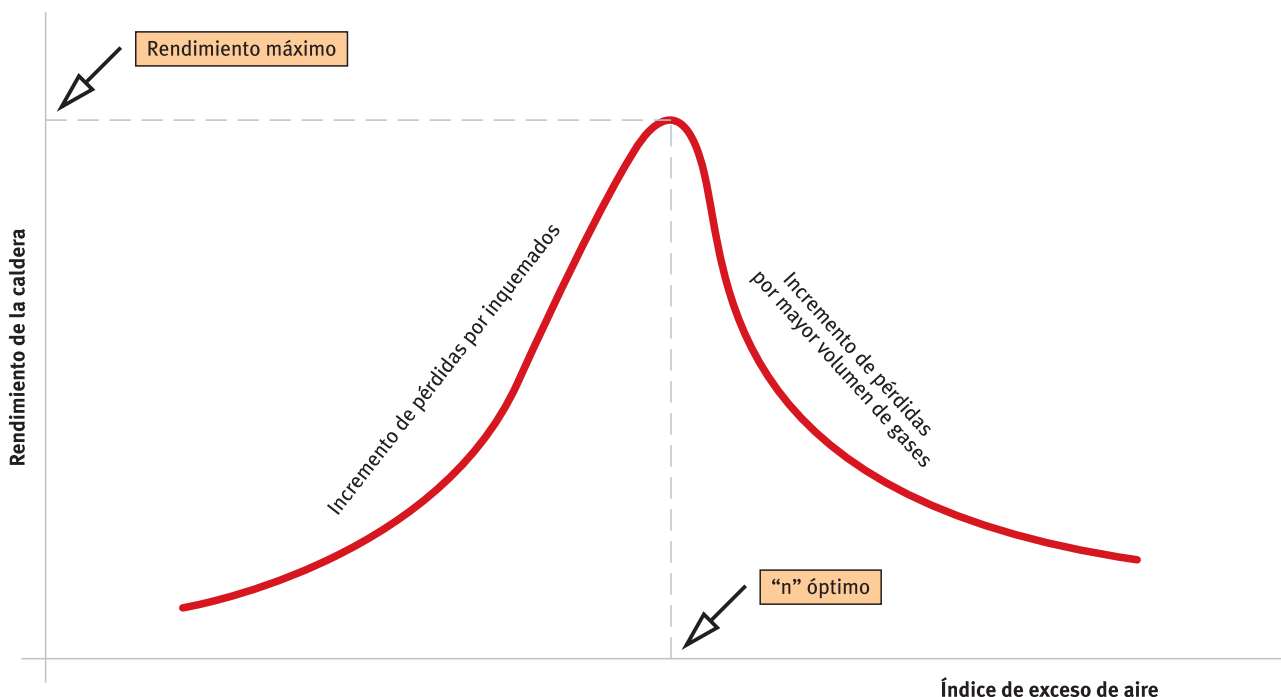
El rendimiento de la combustión en cada caldera tiene un punto óptimo de exceso de aire. Si a partir de ese punto se reduce el exceso de aire, el rendimiento de la combustión será menor al no lograr oxidarse totalmente los componentes del combustible, originando inquemados como el monóxido de carbono (CO). Si, por el contrario, aumentamos el exceso de aire por encima de su valor óptimo, el rendimiento también disminuirá, ya que una parte del calor liberado en la combustión se destinará a calentar la mayor cantidad de aire introducido y desalojado al exterior por el conducto de evacuación o la chimenea.

Vemos pues que el exceso de aire no es función de la composición molecular del combustible sino de la caldera (que define el espacio disponible para que se desarrolle la reacción de combustión), del quemador (que define la íntima mezcla combustible/comburente y el tiempo de permanencia, por desplazamiento, de la combustión en la caldera) e, incluso, de las condiciones ambientales y de temperatura de alimentación del combustible. Por todo ello, un mismo combustible tendrá valores de índice de exceso de aire distintos en distintas calderas, lo que hace que no se pueda establecer a priori un ajuste original del comburente y universalizar este valor para cada combustible. Ello justifica y obliga a que desde un punto de vista de la eficiencia energética se haga necesario analizar la composición de los gases y ajustar cada instalación a sus condiciones particulares.

2.4 ESTUDIO DE LA COMBUSTIÓN A PARTIR DEL ANÁLISIS DE LOS GASES

Hemos visto anteriormente que conocida la composición del combustible es fácil determinar, partiendo de las reacciones básicas, la composición en masa o en volumen de los productos de la combustión estequiométrica. Una vez conocidos éstos, bastará relacionarlos con la masa o el volumen total de los gases de combustión para conocer el exceso de aire con que se está llevando a cabo la misma.

Hemos visto que un combustible por lo general contiene carbono, hidrógeno y azufre, pero además suele llevar también oxígeno entre los elementos de su estructura



molecular (por ejemplo, enlaces de grupos alcohólicos -OH, o carbonilos = O). Se puede determinar el oxígeno necesario en una combustión estequiométrica balanceando las reacciones ya expuestas anteriormente, donde ahora debemos tomar en consideración y restar este oxígeno presente en la materia del combustible y que, una vez liberado como radical, participará también de la oxidación de los otros átomos.

Así, conocida la composición en peso del combustible, tendremos:

Por su parte, el volumen total de gases secos producidos en la combustión estequiométrica será, sabiendo que la relación en volumen del nitrógeno sobre el oxígeno es $79,05/20,95 = 3,77$ y con el mismo razonamiento:

$$V_{gc} = 1,86C + 0,7S + 0,8N + 3,77 \cdot 22,4 \cdot (C/12 + H/4 + S/32 - O/32) \text{ Nm}^3/\text{kg combustible}$$

Hemos visto que a partir de la composición del combustible podemos determinar la masa y el volumen del aire seco necesario para una combustión estequiométrica, y la masa y

Combustión estequiométrica		
Masa de oxígeno necesaria	$MO_2 = 32 \cdot (C/12 + H/4 + S/32 - O/32)$	kg/kg combustible
Masa de aire seco necesario	$M_{as} = 32 \cdot 4,32 \cdot (C/12 + H/4 + S/32 - O/32)$	kg/kg combustible
Volumen de aire seco necesario	$V_{as} = 22,4 \cdot 4,77 \cdot (C/12 + H/4 + S/32 - O/32)$	Nm ³ /kg combustible
Masa de aire húmedo necesario	$M_{ah} = M_{as} + M_{as} \cdot w$ donde w = humedad específica del aire en kg/kg as	kg/kg combustible
Volumen de aire húmedo necesario	$V_{ah} = V_{as} + 1,244 \cdot M_{as} \cdot w$ (18 kg de H ₂ O ocupan 22,4 Nm ³ , dado que 1 mol ocupa 22,4 litros)	Nm ³ /kg combustible

La determinación de la cuantía de los productos contenidos en los gases de la combustión es similar a partir de la reacción cuantitativa de cada componente del combustible, pudiéndolos determinar bien en masa o en volumen:

$$\text{Masa de CO}_2 = \frac{44 \text{ kg de CO}_2}{12 \text{ kg de C}} = 3,67 \cdot C \text{ kg/kg}$$

$$\text{Volumen de CO}_2 = \frac{22,4 \text{ Nm}^3 \text{ de CO}_2}{12 \text{ kg de C}} = 1,87 \cdot C \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

el volumen de los gases secos producidos en la misma. Ahora la determinación del exceso de aire se puede obtener a partir de la medición del peso real de los gases de combustión o de su volumen real por unidad de combustible, empleado de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$M_{gcr} = M_{gc} + M_{as} \cdot (n-1)$$

$$V_{gcr} = V_{gc} + V_{as} \cdot (n-1)$$

De igual forma obtenemos los demás componentes:

Masa de SO ₂	$MSO_2 = (64/32) = 2 S$
Volumen de SO ₂	$VSO_2 = (22,4/32) = 0,7 S$
Masa de N ₂	$MN_2 = N$
Volumen de N ₂	$MN_2 = (22,4/28) = 0,8 N$

La masa total de gases secos producidos en la combustión estequiométrica será la suma de los distintos productos de la combustión más la porción de aire ya exenta de oxígeno que no ha reaccionado, es decir, el nitrógeno contenido en el aire que se introdujo en la caldera, cuya relación en peso con el oxígeno consumido es $76,85/23,15 = 3,32$, por todo lo cual:

$$M_{gc} = 3,67C + 2S + N + 3,32 \cdot 32 \cdot (C/12 + H/4 + S/32 - O/32) \text{ kg/kg combustible}$$

2.5 INQUEMADOS

Cuando las reacciones de combustión no se realizan completamente, en los gases de combustión aparecen sustancias tales como carbono (hollín), monóxido de carbono e hidrocarburos. Se les denomina inquemados, tal y como se ha visto anteriormente, puesto que proceden de la combustión incompleta del combustible. Pueden ser de dos tipos: sólidos o gaseosos.

Inquemados sólidos

Los inquemados sólidos sólo se producen a partir de combustibles sólidos o líquidos. Están formados mayoritariamente por partículas de carbono e hidrocarburos fraccionados.

La formación de inquemados puede deberse a dos causas fundamentales:

- 1 Mal funcionamiento del quemador, lo cual se traduce en:
 - No se consigue la adecuada uniformidad de la mezcla del combustible y el aire.
 - No se atomiza el combustible lo suficiente.
 - La viscosidad del combustible líquido es incorrecta.
 - La intensidad de fuego y las dimensiones de la llama no son adecuadas a la cámara de combustión.
- 2 Aire de combustión insuficiente, debido a lo cual no se puede completar la reacción de combustión.

Los inquemados sólidos son visualmente apreciables por el ensuciamiento de los conductos de humo (hollín) y la aparición de humos oscuros en la chimenea. Su aparición produce dos efectos perjudiciales:

- Representa una pérdida de potencia calorífica del combustible, ya que en la combustión completa del carbono se producen 32 MJ/kg y si la operación es parcial o no se lleva a cabo no se obtienen.
- Las partículas sólidas en forma de hollín se irán depositando en las superficies de intercambio de la caldera, dificultando la transmisión de calor de los gases al agua, lo que provocará un aumento de las pérdidas de calor por aumento de la temperatura de los gases en el conducto de evacuación y chimenea.

Inquemados gaseosos

Están formados por CO e hidrocarburos ligeros. Las causas de su formación suelen ser:

- Insuficiente aire de combustión.
- Mal funcionamiento del quemador.
- Quemador inadecuado.

Cuando el combustible es un gas, su combustión incompleta puede producir elevadas concentraciones de CO y otros hidrocarburos, siendo el CO el mejor indicador de la mala combustión. Los hidrocarburos ligeros, principalmente metano, a partir de concentraciones elevadas pueden provocar explosiones en el conducto de evacuación o en la chimenea por inflamación espontánea, lo cual resulta peligroso.

2.6 FORMACIÓN DE CONTAMINANTES

Con independencia de los inquemados generados por reacciones incompletas, los procesos de combustión dan lugar, inevitablemente, a la inmisión en la atmósfera de sustancias que modifican la composición del aire y que tienen un poder contaminante sobre el mismo aire, la tierra y el agua, y constituyen, con mucho, la más importante fuente de contaminación del aire.

Las materias contaminantes procedentes de un proceso de combustión pueden clasificarse en tres grupos:

- a) Productos derivados de una combustión incompleta, vistos anteriormente.
- b) Óxidos de nitrógeno, generalmente agrupados bajo la denominación NO_x , siendo los más importantes NO y NO_2 .
- c) Emisiones debidas a contaminantes contenidos en los combustibles, como óxidos de azufre, SO_2 y SO_3 , cenizas y trazas de sustancias metálicas varias.

En esta clasificación no se incluye al dióxido de carbono CO_2 y el vapor de agua H_2O como contaminantes, por cuanto su producción es inherente al proceso de combustión, lo que no implica dejar de considerar su elevado potencial como gases de efecto invernadero y sus consecuencias.

La naturaleza y concentración de estas sustancias contaminantes dependen:

- Del tipo de combustible (composición molecular).
- Del modo en que tiene lugar la combustión, es decir, del tipo de caldera y quemador empleados.
- Del mantenimiento y puesta a punto de la instalación.

Por todo ello, la combustión es un proceso que impacta en el ambiente dañándolo de un modo u otro, de aquí la importancia de mejorar la eficiencia global en el aprovechamiento del calor contenido en el combustible diseñando sistemas capaces de aprovechar adecuadamente este calor y mejorando el rendimiento del proceso de combustión.

Veamos la formación y consecuencias de estas sustancias.

2.6.1 Hollines

Los hollines están formados por inquemados sólidos y cenizas impregnados de óxidos de nitrógeno, SO₂, SO₃, CO y CO₂.

Al quemar combustibles sólidos y líquidos siempre aparecen partículas sólidas originadas por la ceniza del combustible y por partículas de carbono que han abandonado la cámara de combustión sin quemarse totalmente.

El hollín irá depositándose en la superficie de intercambio de la caldera, dificultando la transmisión de calor de los gases al agua, lo que se traducirá en un aumento de temperatura de los humos y, por ello, en un menor rendimiento de la caldera.

Cuando el combustible contiene azufre existe el riesgo de que los hollines se impregnen con los óxidos de azufre en su fase de transición hacia el ácido sulfúrico, acelerando la corrosión de las superficies metálicas de la caldera y conductos de humos.

2.6.2 Monóxido de carbono

El monóxido de carbono CO es un gas:

- Muy tóxico, porque impide la oxigenación de la sangre por la hemoglobina.
- Muy peligroso, porque es inodoro y no percibimos que lo estamos respirando.

Es molecularmente inestable y en el aire se transforma en dióxido de carbono CO₂.

Su presencia en los productos de la combustión es prácticamente nula cuando la combustión tiene lugar con exceso de aire. Cantidades importantes de CO pueden formarse solamente en caso de combustión con defecto de aire, de ahí la importantísima necesidad de que las calderas atmosféricas se instalen siempre en zonas exteriores o en locales específicos para ello, de manera que se pueda garantizar la presencia permanente del suficiente caudal de aire en el ambiente donde se encuentren instaladas mediante rejillas, ventanucos o respiraderos de aire de sección suficiente.

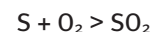
El CO no tiene efectos dañinos sobre los vegetales ni sobre los materiales de construcción. Los efectos

biológicos del CO se deben a su gran afinidad con la hemoglobina, que combinada con el CO (carbóxi-hemoglobina) no puede cumplir con su función de transportar oxígeno. La concentración de carbóxi-hemoglobina en la sangre depende de la concentración de CO en el aire y del tiempo de exposición, siendo una de sus inmediatas consecuencias el desvanecimiento por la pérdida del conocimiento, lo que propicia la facilidad de envenenarse con ese gas al quedar inermes en su presencia. Afortunadamente, el proceso es totalmente reversible si la persona consigue salir de esa atmósfera contaminada.

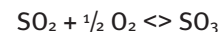
Por otro lado, ya se ha justificado el despilfarro energético que representa la producción de CO por la importante fracción de energía no liberada y que se pierde en la combustión.

2.6.3 SO₂ y punto de rocío ácido

El azufre presente en el combustible se oxida en la combustión según la reacción:



En presencia de oxígeno y a alta temperatura, el SO₂ sigue reaccionando:



El trióxido de azufre reacciona a su vez con el vapor de agua formado en la combustión, cuya mezcla gaseosa, cuando se enfría por debajo de su punto de rocío (punto de rocío ácido), se condensa a ácido sulfúrico dando lugar a la corrosión acelerada de las superficies más frías de la caldera.

El conocimiento del punto de rocío de los productos de la combustión es muy importante. En las calderas estándar y en las de baja temperatura, así como en los conductos de humos, se persigue evitar la condensación del vapor de agua por los daños que puede provocar. Por el contrario, en las calderas de condensación se recupera una parte importante de la diferencia entre PCS y PCI del combustible, condensando una parte del vapor de agua con el fin de aumentar el rendimiento de la caldera.

El vapor de agua en los humos empieza a condensar a la temperatura de rocío de la mezcla de gases, la cual depende de su presión parcial, que a su vez depende del contenido de vapor de agua en su mezcla.

La ley de DALTON establece que cada componente de una mezcla de gases tiene una presión parcial que es proporcional al volumen ocupado por el mismo. Si, por ejemplo, se considera una mezcla de gases de combustión a la presión atmosférica (101.325 Pa) con el 15% en volumen de vapor de agua, la presión parcial de éste en la mezcla será:

$$0,15 \cdot 101.325 = 15.199 \text{ Pa}$$

La temperatura de vaporización/condensación del vapor de agua a esa presión es de 54,3 °C, y por tanto, y para este ejemplo, ésta es también la temperatura de condensación de la mezcla de los gases, o temperatura de rocío.

Se indican a continuación valores redondeados de las temperaturas de los puntos de rocío de dos combustibles comerciales, y en función del exceso de aire:

	Exceso de aire %				
	0	25	50	75	100
Gasóleo	50 °C	47 °C	44 °C	41 °C	39 °C
Gas natural	60 °C	56 °C	53 °C	50 °C	48 °C

Se aprecia que, por un lado, la temperatura de punto de rocío crece cuando el combustible va siendo más ligero (con mayor contenido de H₂ > mayor concentración de vapor de agua) pero, por otro, disminuye con el aumento del exceso de aire (menor concentración de vapor de agua en los gases resultantes por el incremento de aire).

La forma de evitar los efectos nocivos (corrosivos) sobre las paredes de los tubos y otras superficies de la caldera, y descartada la opción de elevar el exceso de aire para reducir la temperatura de rocío por razones obvias de eficiencia energética, es la de mantener la temperatura del agua de retorno por encima de un cierto valor mínimo, que depende del tipo de combustible.

Sin embargo, en las calderas de baja temperatura el tema se ha resuelto con el diseño específico de las superficies de intercambio térmico entre humos y el agua para soslayar este fenómeno de la condensación, y en las calderas de condensación este fenómeno se persigue y provoca dentro de la caldera, lo que hace que sus superficies de intercambio deban estar construidas con materiales resistentes a la corrosión.

2.6.4 Óxidos de nitrógeno

La formación de los óxidos de nitrógeno NO_x, obtenidos por la combinación de los compuestos presentes en el aire (20,99% de oxígeno y 78,03% de nitrógeno en volumen), es una función exponencial de la temperatura que se alcanza en la cámara de combustión, del tiempo de permanencia de los humos en esa zona y del porcentaje de oxígeno presente en la misma.

El NO₂ es el representante más significativo de todos los óxidos de nitrógeno, en cuanto que los otros (NO, N₂O, N₂O₃, N₂O₄ y N₂O₅) tienden a transformarse en el primero por reacciones químicas que tienen lugar en la atmósfera y por acción principal del ozono.

No obstante, la contribución de las instalaciones térmicas a la formación del NO_x global atmosférico es muy inferior a la que se atribuye al tráfico y a procesos industriales.

Sus efectos para la salud, a las concentraciones usuales presentes en las ciudades, se limitan a la irritación de las mucosas. Valores a partir de 50 mg/m³ provocan bronquitis y por encima de 280 mg/m³ neumonía. La absorción de la luz solar por parte del NO₂ conduce al enturbiamiento del aire.

La forma de reducir la producción de NO_x en calderas es mediante el empleo de quemadores catalíticos y radiantes, que persiguen una mayor combinación combustible/comburente, lo que posibilita un menor tiempo de presencia de los productos en la cámara de combustión para obtener un mismo resultado. Para ello existen distintas soluciones, desde quemadores de premezcla que alcanzan esa combinación íntima entre el combustible y el comburente momentos antes de la combustión, hasta quemadores que evitan o minimizan la formación de llama en la combustión mediante, por ejemplo, una malla metálica, lo que hace que se libere y emita toda la energía de la reacción de combustión en forma radiante hacia una cámara de combustión diseñada específicamente al efecto para aprovechar al máximo esta forma de transmisión de calor.

Estas nuevas técnicas de combustión están reconocidas con el distintivo ecológico "Ángel Azul" obtenido en fábrica mediante una prueba normalizada sobre la calidad de las emisiones de la combustión, y concebido para distinguir los productos comerciales con baja incidencia sobre el medio ambiente durante su ciclo de vida. Existe desde hace muchos años y abarca muchos productos. Cada producto, según cual sea su categoría, tiene la etiqueta con el logotipo de "Ángel Azul".

2.6.5 Anhídrido carbónico (o dióxido de carbono)

El anhídrido carbónico CO_2 es el resultado de una combustión completa del carbono. Gas más pesado que el aire, inofensivo salvo que sustituya al mismo en el porcentaje suficiente que pueda producir la asfixia.

Al CO_2 se le atribuye gran parte del fenómeno de calentamiento de la tierra (efecto invernadero) al igual que hacen el vapor de agua, el ozono, el metano, los óxidos de nitrógeno y los derivados halogenados de los hidrocarburos saturados (CFCs, HCFCs y HFCs), al impedir que la radiación infrarroja emitida por la Tierra durante la noche atraviese la atmósfera hacia el espacio exterior, impidiendo su enfriamiento.

El incremento de la producción de CO_2 por los distintos procesos de combustión (edificios, industria, transporte, etc.) no ha sido compensado, ni puede compensarse, con una mayor absorción por la acción clorofílica de las plantas, o por la disolución en el agua del mar, lo que ha provocado que en el siglo anterior la concentración de CO_2 en la atmósfera haya aumentado en 100 ppm, pasando de un valor de 250 a los actuales 350 ppm.

2.7 ANALIZADORES DE GASES

La forma práctica de conocer y controlar una combustión es mediante la utilización de analizadores de gases.

Su aplicación se basa en la toma de una muestra de los gases que discurren por la chimenea o el conducto de humos, tomada por succión a través de un orificio practicado en la misma y obteniendo la concentración de sus componentes mediante analizadores electrónicos con sensores electroquímicos con los que están equipados estos analizadores. Además, estos equipos vienen provistos de una sonda termopar para la toma de la temperatura de los gases, y con un programa en su memoria que, en función del análisis de los gases, de su temperatura y de la temperatura ambiente, ofrece en pantalla el rendimiento de la combustión.

Para ello, estos equipos disponen de un conducto de aspiración (creada por una micro bomba con la que van equipados) para la toma de la muestra de gas, y de un programa de cálculo en su memoria interna con la composición de los combustibles más habituales, por lo que los resultados son inmediatos una vez seleccionado el combustible adecuado. La pantalla con que vienen equipados estos analizadores, e incluso su impresora, dará los siguientes resultados (función de cada producto comercial):

- CO_2 : % en volumen
- O_2 : % en volumen
- CO: partes por millón, ppm. (p.ej. 2.000 ppm = 0,2%)
- Exceso de aire: %
- Rendimiento de la combustión: %

La mayoría de los analizadores portátiles enfrían la muestra por debajo del punto de rocío, lo que hace condensar el agua formada en la combustión, la cual posteriormente es extraída del equipo de alguna forma (gel de sílice, depósito de condensado), por lo que la lectura puede considerarse expresada en función de la composición seca de los gases.

Para que la toma de muestras sea representativa se ha de cuidar:

- Poner la caldera a régimen en la posición de máxima potencia y hacerla funcionar en continuo un mínimo de 5 minutos.
- Evitar variaciones del quemador.
- Seleccionar un punto adecuado para el orificio (centrado) e introducir la sonda hasta el punto central de la sección de la chimenea (conducto de humos).
- Evitar las infiltraciones parásitas de aire (el orificio de toma de muestras estará posiblemente en depresión).



El cálculo del rendimiento energético

Para exponer la forma de determinar el rendimiento energético de una caldera recurrimos al símil del intercambiador de calor entre dos venas o flujos de materia que es, en definitiva, este generador de calor:

- Una vena la compone el flujo del combustible que introducimos y reacciona en la cámara de combustión de la caldera, produciendo calor, para escapar el resultado de la combustión en forma de humos por la chimenea.
- La otra vena la compone el flujo de agua que transita por la caldera, bañando y refrigerando el lado exterior de las superficies de la cámara de combustión y de los pasos de humos mediante la captación del calor de la combustión, lo que origina su elevación de temperatura.

El rendimiento energético de este proceso de intercambio será la relación entre la cuantía del calor que ha captado el agua (calor útil) respecto al que poseía el combustible utilizado.

Existen dos formas de efectuar el balance energético para determinar este rendimiento:

- 1 El **método directo** que, como su nombre indica, se obtiene por la medición, por un lado, del calor contenido en la vena de agua antes y después de su entrada en la caldera y, por otro, la determinación de la energía del combustible, producto de la cuantía empleada por su poder calorífico.

Este es el procedimiento que se utiliza, por ejemplo, para la determinación en laboratorio de la acreditación de rendimiento de las calderas para ser marcadas con la identificación CE, de acuerdo a la Directiva 92/42/CE relativa a los requisitos mínimos de rendimiento para las calderas nuevas

de agua caliente alimentadas con combustibles líquidos o gaseosos, transpuesta a nuestro país por el Real Decreto 275/1995, de 24 de febrero.

La dificultad de su aplicación práctica en la medición del rendimiento energético de calderas en servicio estriba en la dificultad de la medición del caudal de agua que circula por la caldera. Salvo que la misma tenga instalado un caudalímetro, esta medición sólo podría realizarse, de forma no destructiva, con equipos de ultrasonidos, de alto coste y difícil utilización por cuanto exige aplicarse en tramos rectilíneos de tubería desnuda (desmontar el aislamiento térmico).

- 2 El **método indirecto** que, como su nombre indica, se basa en razonar que aquel calor que introducimos con el combustible y no escapa con los humos por el conducto de evacuación o la chimenea, habrá sido captado por el agua.

Este es el procedimiento que se utiliza de forma práctica en las calderas no equipadas con calorímetros en sus circuitos de agua, lo que obliga a efectuar un balance energético de la energía producida por la combustión.

Para cualquiera de estos dos procedimientos debemos indicar que los rendimientos obtenidos son referidos al Poder Calorífico Inferior PCI del combustible, a pesar de que en las calderas de condensación se aprovecha también parte del calor latente de los humos. Por esta razón, el rendimiento de las calderas de condensación, definido sobre PCI, puede ser superior a la unidad (o al 100%), mientras que sería siempre inferior a la unidad si fuera referido al PCS.

A continuación se exponen ambos métodos.

3.1 DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO POR EL CALOR ÚTIL APORTADO AL AGUA (Método directo)

Este procedimiento exige medir el caudal de agua que circula por la caldera, y su temperatura a la entrada y a la salida de la misma.

El rendimiento vendrá definido por la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T}{F \cdot PCI}$$

donde:

η : Rendimiento (%)

\dot{m} : Caudal de agua en la caldera (kg/s)

c_p : Calor específico del agua (kJ/kg °C)

$\Delta T = T_s - T_e$ (°C)

T_s : Temperatura del agua a la salida de la caldera (°C)

T_e : Temperatura del agua a la entrada de la caldera (°C)

F: Consumo de combustible (kg/h)

PCI: Poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg)

3.2 DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO POR LAS PÉRDIDAS EN CALDERA Y EN GASES DE COMBUSTIÓN (Método indirecto)

3.2.1 Pérdidas a través del cuerpo de la caldera

Las pérdidas de calor a través del cuerpo de la caldera tienen lugar siempre por conducción, convección y radiación.

Las pérdidas por conducción se producen en los apoyos de la caldera. Normalmente no se toman en consideración debido a su escasa entidad.

Las pérdidas por convección y radiación se producen a través de la envolvente de la caldera y dependen de los siguientes factores:

- La temperatura media del agua en la caldera.
- La temperatura del aire de la sala de máquinas, en cuanto que afecta a las pérdidas por convección.
- La temperatura de los cerramientos de la sala de máquinas, que afecta a las pérdidas por radiación.
- Las características de la caldera en lo referente al espesor y conductividad térmica del material aislante del cuerpo y la superficie del mismo.

El valor instantáneo de estas pérdidas se determina por vía experimental. A una temperatura constante e igual a 80 °C, en calderas estándar este valor de pérdidas está entre el 1,5 y el 5%, y en calderas de baja temperatura y condensación entre un 0,5 y un 2%. En ambos casos el desplazamiento por el intervalo dado es inversamente proporcional a la potencia de la caldera, es decir, el valor de las pérdidas por convección y radiación disminuye al aumentar la potencia de la caldera.

3.2.2 Pérdidas de calor sensible en los humos

Estas pérdidas dependen fundamentalmente de los siguientes factores:

- La temperatura de los humos, o mejor dicho, la diferencia de temperatura entre la de los humos y la del aire comburente.
- El calor específico de los humos.
- El exceso de aire empleado en la combustión, que se manifiesta en el porcentaje de CO₂ en los humos y afecta al caudal másico o volumétrico de los mismos.

Estas pérdidas suelen estar comprendidas entre el 6 y el 10% de la potencia nominal, incrementándose notablemente este valor en caso de mantenimiento deficiente.

El cálculo de estas pérdidas puede efectuarse con una de estas ecuaciones:

$$P_h = \frac{\dot{m} \cdot c_{pm} \cdot \Delta T}{F \cdot PCI} \quad \text{o} \quad P_h = \frac{\dot{V} \cdot c_{pv} \cdot \Delta T}{F \cdot PCI}$$

donde:

P_h : Pérdidas en humos (%)

\dot{m} : Caudal másico de los humos (kg/s)

\dot{V} : Volumen másico de los humos (m³/s)

c_{pm} : Calor específico de los humos (kJ/kg °C)

c_{pv} : Calor específico de los humos (kJ/m³ °C)

$\Delta T = T_h - T_a$ (°C)

T_h : Temperatura de los humos a la salida de la caldera (°C)

T_a : Temperatura del aire ambiente de la sala de calderas (°C)

F: Consumo de combustible (kg/h)

PCI: Poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg)

En estas fórmulas se ve la importancia que tiene la temperatura de los humos en el valor de las pérdidas. Ello justifica que las calderas de baja temperatura y

condensación mejoren entre un 2 y un 3% el rendimiento instantáneo frente a las estándar por la menor temperatura de salida de sus humos.

A continuación se reproducen los valores del calor específico medio de los distintos gases de la combustión a diferentes temperaturas.

Calor específico de distintos gases de combustión (kJ/m³ °C)					
Temperatura °C	O ₂	CO ₂	N ₂	H ₂ O	SO ₂
100	1,2156	1,7376	1,2742	1,5706	1,7414
200	1,2910	1,8389	1,2809	1,5811	1,7849
300	1,3408	1,9139	1,2931	1,5936	1,8276
400	1,3764	1,9741	0,8837	1,6079	1,8695
500	1,4036	2,0256	1,3115	1,6233	1,9101

3.2.3 Pérdidas por inquemados

Estas pérdidas son debidas fundamentalmente a la presencia de monóxido de carbono CO en los gases y en la práctica, si la combustión es correcta, son muy pequeñas. Su valor suele estar muy por debajo del 0,5% de la potencia útil de la caldera con combustibles gaseosos.

El cálculo se puede llevar a cabo con la ecuación:

$$p_i = \frac{PCco}{PCI} \cdot CO$$

donde:

CO: es el contenido de monóxido de carbono, en %

PCco: es el poder calorífico del monóxido de carbono y PCI el del combustible (ambos deberán estar en las mismas unidades)

En los combustibles líquidos y sólidos la producción de inquemados suele ser visible por la aparición de humos negros. Para estos combustibles también es de aplicación el método BACHARACH que permite la detección de los inquemados sólidos: la muestra de gases se hace pasar por un dispositivo donde los inquemados “manchan” un patrón cuyo nivel de ennegrecimiento comparado en una escala aporta la cantidad de inquemados contenidos en los humos. Si bien este procedimiento no permite cuantificar energéticamente las pérdidas por inquemados, a continuación se indica una estimación obtenida por procedimientos experimentales:

Índice de BACHARACH	1	2	3	4	5	6
% de pérdidas sobre el combustible	0,7	1,3	2,4	3,5	4,7	6

Con todo ello, el rendimiento energético de la caldera vendrá definido por la expresión:

$$\eta = 100 - (P_{rad+conv} + P_h + P_i)$$

En la práctica, en el sector de la edificación se suele determinar el rendimiento de la combustión en lugar del rendimiento de la caldera, es decir, se obvia en los cálculos las pérdidas por el cuerpo de la caldera (radiación y convección) dada la dificultad de su medición y la baja incidencia respecto a los parámetros que interesa controlar y que son la cuantía de las distintas materias contenidas en los humos y su temperatura.

De esta forma, el rendimiento de combustión queda simplificado a la expresión:

$$\eta = 100 - (P_h + P_i)$$

4

Procedimiento de inspección de la eficiencia energética de una caldera

Con vistas a la reducción del consumo de energía y a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono, la Directiva 2002/91/CE de eficiencia energética en los edificios solicitaba, en su artículo 8º, que los Estados miembros tomasen, entre otras, las medidas necesarias para establecer una inspección periódica de las calderas que utilicen combustibles no renovables líquidos o sólidos y tengan una potencia nominal efectiva comprendida entre 20 y 100 kW. Dicha inspección también podrá aplicarse a calderas que utilicen otros combustibles. Las calderas con una potencia nominal efectiva de más de 100 kW se inspeccionarán al menos cada dos años. Para las calderas de gas, este período podrá ampliarse a cuatro años.

Este mandato, desarrollado en el articulado y en la IT 4 del RITE, necesita de un procedimiento o protocolo práctico que establezca cómo llevar a cabo las labores de medición del rendimiento de las calderas y de sus emisiones de CO₂, de forma que su resultado tenga la necesaria y suficiente validez.

Para ello, las inspecciones serán llevadas a cabo bajo las siguientes condiciones:

4.1 CONDICIONES DE TOMA DE MEDIDAS

- Los controles y mediciones de la inspección se iniciarán transcurrido un periodo mínimo de 5 minutos a la puesta en marcha de la caldera.
- La toma de muestras de los gases de la combustión y la medición de su temperatura se realizarán con la caldera funcionando a la máxima potencia, asegurándose de que esté a régimen. Para ello, y si fuera necesario, se actuará sobre los termostatos de ambiente y/o temperatura de preparación de

ACS al objeto de asegurar que la regulación no cortará o modulará el quemador durante el período que necesitamos para estabilización y medida.

- Cuando la caldera sea mixta, servicio calefacción y ACS, la puesta a régimen y la toma de medidas se efectuarán sobre el servicio de máxima potencia (habitualmente en el modo de producción de agua caliente sanitaria).
- En el momento de realizar los análisis y las mediciones, la temperatura del agua de impulsión de la caldera estará a un valor medio de 70 °C o, en su defecto, no podrá ser inferior en 10 °C a la máxima prevista de funcionamiento.
- La puerta o las ventanas de la sala de máquinas o del local donde estén instaladas las calderas deberán estar cerradas para no modificar las condiciones normales de ventilación y del tiro de la chimenea o conducto de humos.
- Si hubiera que practicar algún orificio en el conducto de evacuación, éste será circular y de 9 mm de diámetro. En ese caso, éste debe ser posteriormente obturado por medio de un tapón de plástico termo resistente (al menos hasta 200 °C).
- En las calderas con quemadores atmosféricos y tiro natural, las muestras se tomarán en el conducto vertical de evacuación de los productos de la combustión, a 15 cm por encima del cortatiro o collarín de unión de dicho conducto con el aparato.
- En las calderas de tipo estanco y de tiro forzado, la toma para los análisis se realizará en el orificio previsto por el fabricante en el conducto de evacuación de los productos de la combustión. Si éste no existiese, se tomará en el conducto vertical de

evacuación de los productos de la combustión, a través de un orificio practicado a 15 cm por encima del collarín de unión de dicho conducto con el aparato.

- En las calderas con quemadores mecánicos o calderas de combustibles sólidos, las tomas se realizarán en el conducto de evacuación de los productos de la combustión y a una distancia comprendida entre 0,5 y 1 m después de la caja de humos del aparato.
- En el caso de calderas con quemadores atmosféricos y tiro natural ubicadas en locales de cocina equipados con campana extractora, la campana deberá estar en funcionamiento durante la toma de muestras.
- Se deben evitar las infiltraciones parásitas de aire por el orificio de la toma de muestras al introducir la sonda: el orificio estará posiblemente en depresión y la entrada de aire falso podría alterar los resultados de la analítica e incluso el valor de la temperatura de humos.
- La sonda debe dejarse en la posición de medida al menos 2 minutos, hasta que los valores a medir oscilen muy poco o sean razonablemente estables, en cuyo caso deben registrarse y anotarse. Si los valores están permanentemente oscilando (caso de aparatos en condiciones menos óptimas), deben observarse los valores alcanzados durante 1 minuto, registrando y anotando, si es preciso, el valor lo más cercano posible al máximo observado.
- Si la caldera poseyera en su salida de humos un recuperador de calor, se tomarán las medidas después del mismo.

4.2 EQUIPOS DE MEDIDA

- Los equipos destinados a la medición de los parámetros necesarios para determinar el rendimiento de las calderas deberán disponer del certificado de calibración, (con trazabilidad para los analizadores de gases de combustión), emitido por un laboratorio certificado o acreditado. En este certificado se harán constar la fecha de emisión y las magnitudes para cuya medición ha sido calibrado el instrumento, no pudiendo la incertidumbre obtenida ser superior a $\pm 10\%$, ni la validez del periodo de calibración superior a 12 meses.

- La información mínima que se debe obtener a través de estos equipos serán los siguientes valores:
 - CO₂: % en volumen
 - O₂: % en volumen
 - CO: partes por millón, ppm.
 - Exceso de aire: %
 - Rendimiento de la combustión: %
 - Temperatura de humos y de ambiente
- El valor del rendimiento de la caldera también podrá determinarse por el método directo para aquellas instalaciones equipadas con calorímetros en el circuito de agua de la caldera.

4.3 INTERVALOS DE LOS VALORES ADMISIBLES DE LOS NIVELES DE EMISIÓN

- Los intervalos de valores admisibles de los niveles de emisión de CO₂ y CO para los aparatos alimentados con gas natural o GLP son los que se indican en la Tabla I.

TABLA I
INTERVALO DE VALORES ADMISIBLES DE CO₂ Y CO PARA CALDERAS ALIMENTADAS CON GAS NATURAL O GLP

	Potencia nominal útil (kW)		
	P _u ≤ 35	35 < P _u ≤ 70	P _u > 70
Gas natural, CO ₂ (%)	> 4,5	> 5,5	> 8,0
Gas propano, CO ₂ (%)	> 6,0	> 6,5	> 9,0
CO máximo (p.p.m)	500	500	500

- Los intervalos de valores admisibles para los aparatos alimentados con combustibles líquidos serán los que se indican en la Tabla II.

TABLA II
INTERVALO DE VALORES ADMISIBLES DE CO₂ Y OPACIDAD PARA CALDERAS ALIMENTADAS CON COMBUSTIBLES LÍQUIDOS

	Potencia nominal útil (kW)		
	P _u ≤ 35	35 < P _u ≤ 70	P _u > 70
CO ₂ (%)	10 ÷ 12	10 ÷ 12	10 ÷ 12,5
Inuquemados (Bacharach máximo)	1	1	1

- Los intervalos de valores admisibles para las calderas de combustibles sólidos serán los que se indican en la Tabla III.

TABLA III
INTERVALOS DE VALORES ADMISIBLES DE CO₂
Y OPACIDAD PARA CALDERAS ALIMENTADAS
CON COMBUSTIBLES SÓLIDOS

	Potencia nominal útil (kW)		
	P _u ≤ 35	35 < P _u ≤ 70	P _u > 70
CO ₂ (%)	11 ÷ 15		
Inquemados (Bacharach máximo)	2		

Notas a los valores de las tablas:

- 1 Los valores están referidos a composición seca de los gases.
- 2 El límite máximo del contenido de monóxido de carbono CO no diluido en los gases de combustión establecido en la Tabla I marca el umbral de la necesidad de proceder a una limpieza y ajuste de la caldera, aunque las normas de seguridad permitan llegar a este valor hasta los 1.000 ppm.
- 3 Se hace hincapié en vigilar que no exista aire falso que altere las medidas, máxime en instalaciones de gas equipadas con calderas con quemadores atmosféricos. Pasar de un exceso de aire de 1,5 a 3,5 por este motivo dispara la lectura derivada del CO no diluido en la misma proporción en analizadores que derivan este valor de la medición del O₂.
- 4 Como se expuso en el capítulo anterior, el rendimiento energético aumenta al disminuir el exceso de aire

y aumenta la concentración de CO₂ hasta el valor estequiométrico. Los valores de partida indicados en la tabla para la concentración de CO₂ debe interpretarse como “valor práctico” para obtener un mínimo exceso de aire que evite la formación de CO y otros inquemados. No obstante, este valor podrá ser superado si la calidad de la combustión se mantiene.

4.4 DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE LA CALDERA

- Las calderas de agua caliente alimentadas por combustibles líquidos y gaseosos que se hubiesen instalado con una fecha posterior al 31 de diciembre de 1997 deberán poseer como mínimo, a potencia nominal, un valor de rendimiento no inferior en 2 unidades al determinado en la puesta en servicio, que a su vez no deberá haber sido inferior en 5 unidades al establecido por la siguiente expresión:

$$\eta = a + b \cdot \log P_n \quad (\%)$$

donde **log** es el logaritmo en base 10 de la potencia nominal de la caldera, expresada en kW y los coeficientes **a** y **b**, función de la temperatura media del agua, son los de la siguiente tabla:

Tipo de caldera	T _m	Coeficientes	
	C	a	b
Estándar	70	84,0	2,0
Baja temperatura	70	87,5	1,5
Condensación	70	91,0	1,0

A modo de ejemplo, se indican los valores de rendimiento mínimo exigibles a los distintos tipos de calderas, según su potencia en la puesta en servicio (expresados en %):

Tipo de caldera	Potencia nominal útil (kW)					
	20	50	100	200	300	400
Estándar (%)	81,6	82,4	83,0	83,6	84,0	84,2
Baja temperatura (%)	84,5	85,0	85,5	86,0	86,2	86,4
Condensación (%)	87,3	87,7	88,0	88,3	88,5	88,6

- El rendimiento mínimo de las calderas de combustibles líquidos y gaseosos instaladas con fecha anterior al 31 de diciembre de 1997, y de las calderas de combustibles sólidos instaladas en cualquier fecha será el indicado en su placa o en su documentación técnica. En caso de no existir esta información, el rendimiento será el resultante de ajustar los valores de los componentes de la combustión a los valores indicados en las tablas I, II o III del anterior apartado 4.3.

4.5 MANTENIMIENTO

Las instalaciones de calefacción y preparación de agua caliente sanitaria contarán con el servicio de Mantenimiento en las condiciones que fija el RITE.

Los Partes o el Libro de Mantenimiento descritos en el RITE estarán a disposición de los Inspectores, que comprobarán que el mantenimiento realizado cumple con los mínimos exigidos en dicho Reglamento.

En caso de incumplimiento, el Titular deberá tomar las medidas correctoras para que se cumplan los requisitos mínimos exigidos en el plazo máximo de seis meses a partir de la fecha de Inspección.

4.6 ACTA

Los resultados de una Inspección deberán plasmarse en un Acta que deberá emitir la empresa o agente acreditado que la haya realizado.

El Acta de la inspección deberá contener, como mínimo, los siguientes datos:

- Titular de la instalación.
- Emplazamiento de la instalación.
- Marca, modelo, número de fabricación y potencia nominal útil instalada (en kW).

- Combustible que está consumiendo.
- En instalaciones con potencia nominal útil instalada mayor de 70 kW, nombre del titular del mantenimiento y fecha de la última revisión realizada sobre los parámetros de funcionamiento del grupo térmico.
- En caso de quemadores no integrados, marca y modelo del quemador.
- Valor medio de las medidas efectuadas.
- Fecha de la inspección.
- Persona que, en representación del titular de la instalación, ha presenciado la inspección.
- Sello y firma la empresa o agente acreditado que ha realizado la inspección.

De dicha Acta de la inspección se expedirán, como mínimo, tres ejemplares: un primero para el titular de la instalación; un segundo para el organismo territorial competente de la Comunidad Autónoma correspondiente, que le será remitido por la empresa o agente acreditado; y un tercero para la propia empresa o agente acreditado que haya realizado la inspección.

El Acta se emitirá en hojas de tamaño UNE A-4, debiendo contener todos los datos del presente apartado en una sola de sus caras y debiéndose reservar el espacio inferior de la misma para la anotación de las observaciones oportunas y la firma del titular de la instalación o el nombre y firma de su representante.

5

Inspección de la eficiencia energética de instalaciones de generación de calor equipadas con calderas de más de 15 años de antigüedad

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), recogiendo el mandato de la Directiva Europea 2002/91/CE de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios, establece entre uno de sus objetivos la evaluación del estado de aquellas instalaciones de generación de calor equipadas con calderas de más de 15 años de antigüedad.

En su IT 4.2.3, el RITE establece que esta inspección comprenderá como mínimo las siguientes actuaciones:

- a) Inspección de todo el sistema relacionado con la exigencia de eficiencia energética regulada en la IT.1 de este RITE.
- b) Inspección del registro oficial de las operaciones de mantenimiento que se establecen en la IT.3, para la instalación térmica completa y comprobación del cumplimiento y la adecuación del “Manual de Uso y Mantenimiento” a la instalación existente.
- c) Elaboración de un dictamen con el fin de asesorar al titular de la instalación, proponiéndole mejoras o modificaciones de su instalación, para mejorar su eficiencia energética y contemplar la incorporación de energía solar. Las medidas técnicas estarán justificadas en base a su rentabilidad energética, medioambiental y económica.

La IT 1 del RITE regula la adopción de un conjunto de soluciones sobre cada sistema o subsistema de la instalación térmica cuyo cumplimiento asegurará, de forma indirecta, la superación de exigencia de eficiencia energética.

Nos encontramos así con la necesidad de efectuar una inspección sobre todo el conjunto de la instalación térmica

cuando sus calderas alcancen los 15 años de antigüedad, y cuyo procedimiento de actuación debe supervisar el suficiente conjunto de equipos y sistemas o subsistemas de la instalación cuyo resultado, en términos “Cumple” o “No Cumple”, debe dar lugar a un acta de cumplimiento o a un dictamen que informe al titular de la instalación sobre las modificaciones que debería efectuar en la misma para mejorar su eficiencia energética.

En este capítulo se desarrolla el procedimiento para dar respuesta a este requisito, junto con el procedimiento para la determinación del consumo específico de combustible de la instalación de calefacción y de ACS, dato que aportará al usuario de la instalación una visión en términos energéticos del uso que realiza sobre la instalación y de la eficiencia energética de la misma.

Estos valores del consumo de combustible para el servicio de calefacción y de ACS se limitan a unas cifras obtenidas experimentalmente y cuyo traspaso puede responder no sólo a una baja eficiencia energética de la instalación sino a unas condiciones de funcionamiento por parte de los usuarios en (horarios, temperaturas, u otras) superiores a los estándares medios. Al margen de la información al usuario, la obtención de estos valores permitirá a las distintas administraciones públicas conocer los vectores del consumo de energía para poder establecer sus distintos programas de actuación en la conservación del medio ambiente.

Efectuada la Inspección Única para instalaciones de generación de calor equipadas con calderas de más de 15 años de antigüedad, este ratio del consumo de combustible de la instalación será recalculado en cada Inspección Periódica, pasando los resultados y la evolución de este valor a formar parte de la documentación técnica de la instalación.

5.1 CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN CALEFACCIÓN

El consumo específico del combustible destinado al servicio de calefacción de los edificios se calculará según la siguiente expresión:

$$C_{\text{calef}} = \frac{E_c}{S_c \cdot n}$$

donde:

E_c = Energía nominal consumida durante el período analizado, calculada en base al PCI del combustible (kWh)

S_c = Superficie útil calefactada (m²)

n = Período analizado (años)

Determinación de la energía nominal consumida (E_c)

La energía nominal consumida se calculará en función de los consumos de combustible, acreditados por el titular de la instalación por medio de los registros históricos de consumo que le son facilitadas por las compañías suministradoras de energía conjuntamente con las facturas energéticas.

En las instalaciones que tengan la obligación de contar con un servicio de mantenimiento, la empresa mantenedora llevará un registro en el que se realice el seguimiento de la energía nominal consumida.

Asimismo, la compañía suministradora de energía informará a la empresa o agente acreditado para efectuar la inspección, de los suministros de energía nominal suministrada a cada instalación.

Las empresas de inspección cotejarán los datos mencionados en los párrafos anteriores, determinando el dato de energía nominal consumida en el período entre Inspecciones.

Una vez conocido el combustible consumido, se calculará la energía en base a su PCI, dato que deberá ser aportado por la compañía suministradora de energía en las correspondientes facturas de suministro.

En cada nueva Inspección Periódica de eficiencia energética de la caldera se deberá determinar la energía nominal consumida en ese periodo de tiempo.

Determinación de la superficie útil calefactada (S_c)

Se considerará como superficie útil calefactada la superficie de los locales del edificio o de la vivienda que posean servicio de calefacción, es decir, no tomando en consideración dependencias no calefactadas tales como garajes, trasteros, etc.

Se considerará como superficie calefactada las cocinas, aseos y pasillos, aunque en la práctica no dispusieran de emisores de calor.

El valor de la superficie útil calefactada será determinado en esta inspección general de la instalación térmica.

Cuando existan reformas del edificio o de la vivienda que afecte a la superficie calefactada, el valor de su nueva superficie deberá ser corregido en la siguiente Inspección Periódica correspondiente.

Consumo de combustible

El ratio del consumo de combustible anual por superficie calefactada (Re) no podrá ser superior a los valores indicados en la siguiente tabla, en función de la zona climática que corresponda a la localidad del edificio o vivienda y que se relacionan en el Apéndice I:

Zona climática	A	B	C	D	E
Consumo de combustible de calefacción (kWh/m ² año)	39,6	79,2	125,4	171,6	211,2

En caso de incumplimiento, el Titular deberá poner en práctica las recomendaciones indicadas en el Apéndice II.

5.2 CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA PREPARACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA

El consumo de combustible asociado a la demanda de agua caliente sanitaria, a lo largo de un año, no deberá superar la cifra de los valores unitarios que aparecen en la siguiente tabla (Unidad en kWh/año).

Criterio de demanda	kWh/año
Vivienda	1.264 por persona
Hospital y clínica	3.371 por cama
Hotel ****	4.290 por cama
Hotel ***	3.371 por cama
Hotel/Hostal **	2.451 por cama
Camping	2.451 por emplazamiento
Hostal/Pensión *	2.145 por cama
Residencia (ancianos, estudiantes...)	3.371 por cama
Vestuarios Duchas colectivas	919 por servicio
Escuelas	184 por alumno
Cuarteles	1.226 por persona



(Continuación)

Criterio de demanda	kWh/año	
Fábricas y talleres	919	por persona
Administrativos	184	por persona
Gimnasios	1.532	por usuario
Lavanderías	306	por kilo de ropa
Restaurantes	613	por comida
Cafeterías	61	por almuerzo

En el uso residencial vivienda el cálculo del número de personas por vivienda deberá hacerse utilizando como valores mínimos los que se relacionan a continuación:

Nº de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	más de 7
Nº de personas	1,5	3	4	6	7	8	9	Nº de dormitorios

En instalaciones de generación de calor centralizadas en edificios de varias viviendas o usuarios de ACS, la demanda total de ACS se considerará como la suma de las demandas de todos ellos.

En las instalaciones de generación de calor para ACS que posean apoyo de energía solar térmica, la cifra del límite del consumo de combustible deducido con la tabla anterior se reducirá en la cuantía de la cobertura térmica prevista con la instalación solar.

En caso de incumplimiento, el Titular deberá poner en práctica las recomendaciones indicadas en el Apéndice II.

5.3 RENDIMIENTO ESTACIONAL

Un indicador del nivel de eficiencia energética de la instalación térmica de un edificio es la determinación de su rendimiento estacional.

En los capítulos anteriores se han descrito los métodos para obtener el rendimiento de una caldera y el procedimiento de inspección, con los valores o ratios que debe alcanzar este tipo de generador de calor en su funcionamiento habitual. El valor de rendimiento obtenido por esos métodos configura el rendimiento instantáneo de la combustión de la caldera, es decir, la relación de calor útil respecto al combustible consumido que en ese instante se obtiene en la caldera.

Otra cuestión distinta es conocer el grado de adecuación de la potencia de este tipo de generadores de calor a la demanda de energía que sobre ellos se solicita por los distintos servicios del edificio. Si midiéramos, por un

lado, el calor aportado a las instalaciones de calefacción y/o ACS a lo largo de un año y, por otro, el combustible consumido en ese periodo, obtendríamos el rendimiento estacional como la relación entre ambos valores. Veríamos que este valor difiere del rendimiento instantáneo de la caldera, siendo un valor indicativo no del nivel de calidad de la caldera, sino del grado de adecuación de la potencia de la instalación a la demanda de energía de los servicios que satisface. Esta es la razón por la que el RITE exige, por ejemplo, el fraccionamiento de potencia en varios generadores y en varios frentes de llama con quemadores de etapas o modulantes.

5.3.1 Cálculo del rendimiento estacional por el método directo

Dentro de la serie de “Guías técnicas de ahorro y eficiencia energética en climatización” editadas por el IDAE, existe el Título “Contabilización de Consumos” que describe y desarrolla el procedimiento para determinar el rendimiento estacional de aquellas instalaciones equipadas con equipos de contabilización.

5.3.2 Cálculo del rendimiento estacional por el método indirecto

Para aquellas instalaciones que no tuvieran instalados estos equipos de contabilización, se desarrolla a continuación un método para la determinación de forma indirecta del rendimiento estacional de una instalación.

El rendimiento de las calderas se calculará en base a las siguientes expresiones:

$$R_g = \frac{R_c - 2}{1 + (((P_n \div P_p) - 1) \cdot C_o)}$$

donde:

R_g = Rendimiento estacional de la caldera (%)

R_c = Rendimiento instantáneo de combustión (%)

P_n = Potencia nominal de la caldera (kW)

P_p = Potencia media real de producción (kW)

C_o = Coeficiente de operación, según la siguiente tabla:

P _n (kW)	C _o
< 75	0,05
75 a 150	0,04
150 a 300	0,03
300 a 1.000	0,02
> 1.000	0,01

El rendimiento estacional (R_g) se calculará de forma independiente para cada uno de las calderas que formen parte de la instalación, recogiendo el dato de rendimiento global neto en %.

El rendimiento instantáneo de combustión (R_c) será determinado de la forma descrita en los capítulos anteriores.

La potencia nominal de la caldera (P_n) será calculada en el momento de realizar la Inspección de la siguiente manera:

$$P_n = Ch \cdot PCI$$

donde:

Ch = Consumo horario de combustible, medido por su contador

PCI = Poder calorífico inferior del combustible

En caso de no existir contadores de combustible, la potencia nominal de la caldera (P_n) será tomada de los datos de catálogo, facilitados por el fabricante del mismo.

La potencia media real de producción (P_p) en las calderas de más de 70 kW, se determinará mediante la siguiente expresión:

$$P_p = \frac{E_c \cdot 0,7}{H_f}$$

donde:

E_c = Energía consumida por la caldera durante el período analizado, calculada en base al PCI del combustible (kWh)

H_f = Número de horas de funcionamiento durante el período analizado en las que la caldera ha estado caliente en disposición de servicio, aunque no se produzca combustión

En las calderas de potencia inferior a 70 kW, la potencia real media de producción (P_p) se calculará de la siguiente forma:

$$P_p = 0,04 \cdot S_c$$

donde:

S_c = Superficie útil calefactada (m^2)

Notas:

- 1 Si existieran varias calderas para usos de calefacción y producción de agua caliente sanitaria, y no existiera un contador de combustible por cada uno de ellos, se ponderará el consumo de combustible para los servicios de calefacción y agua caliente sanitaria en función de los datos indicados en las tablas de los

apartados 5.1 y 5.2 relativos al consumo máximo anual de combustible para cada servicio, y seguidamente se estimará el combustible consumido por cada una de las calderas que normalmente funcionan para cada servicio, en función de su potencia.

- 2 Para el cálculo del parámetro H_f indicamos dos ejemplos:

- Una caldera mixta para calefacción y agua caliente sanitaria que haya estado en disposición de servicio durante 24 horas diarias, 365 días al año y 4 años entre Inspecciones Periódicas, tendrá un valor de:

$$H_f = 24 \cdot 365 \cdot 4 = 35.040 \text{ horas}$$

- Una caldera que funcione únicamente para el servicio de calefacción, durante 11 horas diarias, 210 días al año y 4 años entre Inspecciones Periódicas, tendrá un valor de:

$$H_f = 11 \cdot 210 \cdot 4 = 9.240 \text{ horas}$$

5.3.3 Valor mínimo de rendimiento estacional

El rendimiento estacional (R_g) de una caldera no podrá ser inferior al 60%.

Si existieran varias calderas, incumplirá este precepto aquella o aquellas que no alcancen el rendimiento estacional mencionado, debiendo actuarse al respecto, aunque el rendimiento estacional medio ponderado del conjunto de calderas supere el 60%.

El cálculo de este rendimiento se actualizará en las posteriores Inspecciones Periódicas, siendo el período analizado el existente entre Inspecciones. Se recomienda que el período entre Inspecciones corresponda a anualidades completas, con el fin de facilitar los cálculos.

En caso de incumplimiento, el Titular deberá tomar las medidas necesarias para que en la siguiente Inspección Periódica el rendimiento global supere el mínimo indicado. Si una caldera incumple el rendimiento global mínimo establecido y tiene más de 15 años, deberá ser sustituido por otro de mayor rendimiento y cuya potencia se adecue a la demanda de la instalación, en el plazo máximo de un año a partir de la fecha de Inspección.

5.4 CALDERAS

Las calderas y quemadores utilizarán el combustible para el que fueron diseñados.

En centrales de producción de calor equipadas con varias calderas, éstas estarán interconectadas hidráulicamente para su funcionamiento en paralelo y estarán equipadas con un sistema de control automático de funcionamiento de tal manera que:

- cuando la eficiencia de la caldera disminuya al disminuir la demanda, las calderas trabajen en secuencia.
- cuando la eficiencia del generador aumente al disminuir la demanda, las calderas trabajen en paralelo.

Las calderas de combustibles líquidos y gaseosos con potencia nominal mayor de 35 kW dispondrán en su conducto de humos de un dispositivo de corte del funcionamiento del quemador cuando detecte que la temperatura de los humos exceda la máxima indicada por el fabricante de la caldera, cuyo valor en ningún caso será superior a los 240 °C. Este dispositivo será de rearme manual.

En caso de incumplimiento, el Titular de la instalación deberá tomar las medidas oportunas para que se corrijan o implementen aquellos requisitos mínimos exigidos en el plazo máximo de un año a partir de la fecha de Inspección.

5.5 AISLAMIENTO TÉRMICO

Las instalaciones de calefacción y preparación de ACS contarán con un nivel y espesor de aislamiento térmico de sus tuberías, equipos y depósitos de acumulación equivalente al obligatorio para las instalaciones de nueva planta prescrito en el Reglamento en vigor en el momento de realizar la Inspección Única. (RITE IT 1.2.4.2).

Para redes de tuberías, esta exigencia sólo será obligatoria en aquellos tramos visibles de la sala de máquinas, locales no calefactados y espacios abiertos por los que discurran.

Cuando las tuberías o los equipos estén instalados en el exterior del edificio, la terminación final del aislamiento deberá poseer la protección suficiente contra la intemperie.

En cada Inspección Periódica se verificará la calidad del aislamiento térmico de las tuberías y de los equipos instalados en la sala de máquinas.

En caso de incumplimiento, el Titular de la instalación deberá tomar las medidas oportunas para que se corrijan o implementen aquellos requisitos mínimos exigidos en el plazo máximo de un año a partir de la fecha de Inspección.

5.6 REGULACIÓN Y CONTROL

La existencia de los sistemas de regulación y control indicados en los apartados siguientes se comprobará en cada una de la Inspecciones Periódicas. Asimismo, los Inspectores comprobarán que los sistemas de regulación funcionan correctamente y no se encuentran fuera de servicio o inhabilitados.

En caso de incumplimiento, el Titular de la instalación deberá tomar las medidas oportunas para que se corrijan o implementen aquellos requisitos mínimos exigidos en los apartados siguientes en el plazo máximo de un año a partir de la fecha de Inspección.

5.6.1 Instalaciones de Calefacción

Los sistemas de calefacción dispondrán, como mínimo, de los siguientes sistemas de Regulación y Control de temperatura:

Calefacción Individual

- Un termostato de ambiente con un diferencial máximo de temperatura de $\pm 0,5$ °C.
- Un termostato de regulación de temperatura del agua de impulsión de caldera.
- Un termostato de seguridad de temperatura del agua de impulsión en cada caldera.
- Un termómetro de control de la temperatura del agua de impulsión de caldera.

Calefacción centralizada con distribución en columnas

- Un sistema de regulación de la temperatura de impulsión del agua a radiadores en función de la temperatura exterior.
- Un termostato de regulación de temperatura del agua de impulsión en cada caldera.
- Si el quemador tiene más de una etapa, dispondrá de un termostato adicional por cada llama.
- Si el quemador es modulante, dispondrá de un sistema de regulación adecuado a tal fin.
- Si existen varias calderas interconectadas hidráulicamente, un sistema de regulación del funcionamiento automático en secuencia o paralelo.

- Un termostato de seguridad de temperatura del agua de impulsión en cada caldera.
- Un termómetro de control de la temperatura del agua de impulsión de caldera.
- Un termómetro de control de la temperatura del agua de retorno de caldera.

Calefacción centralizada con distribución en anillo por vivienda

Además de los sistemas de regulación y control mínimos exigidos para instalaciones de calefacción colectiva con distribución en columnas, las que cuenten con distribución en anillo por vivienda deberán disponer de los siguientes elementos:

- Un termostato de ambiente con un diferencial máximo de temperatura de $\pm 0,5$ °C, que actuará sobre una válvula de zona motorizada en cada vivienda.
- Un sistema de medición que permita individualizar el gasto energético en calefacción de cada vivienda.

5.6.2 Instalaciones de preparación de Agua Caliente Sanitaria

Los sistemas de preparación de agua caliente sanitaria dispondrán, como mínimo, de los siguientes sistemas de Regulación y Control de temperatura:

Agua Caliente Sanitaria individual

- Un termostato de regulación de la temperatura de producción de agua caliente sanitaria.

Agua Caliente Sanitaria centralizada

- Un termostato de regulación de la temperatura de acumulación de ACS.
- Un termostato de regulación de temperatura del agua de impulsión en cada caldera.
- Si el quemador tiene más de una etapa, dispondrá de un termostato adicional por cada llama.
- Si el quemador es modulante, dispondrá de un sistema de regulación adecuado a tal fin.

- Si existen varias calderas interconectadas hidráulicamente, un sistema de regulación del funcionamiento automático en secuencia o paralelo.
- Un termostato de seguridad de temperatura del agua de impulsión en cada caldera.
- Un termómetro de control de la temperatura del agua de impulsión de caldera.
- Un termómetro de control de la temperatura del agua de retorno de caldera.
- Un termómetro de control de la temperatura de acumulación de ACS.
- Un contador de agua caliente sanitaria en cada vivienda, que permita individualizar el consumo, salvo que se demuestre la dificultad de su instalación, al no existir puente de contador.

5.7 CONTABILIZACIÓN DE CONSUMOS

En aquellas instalaciones colectivas en las que la individualización del consumo es obligatoria, los Inspectores comprobarán que se procede al reparto del gasto entre los distintos usuarios, tanto para el consumo de calefacción como para el de ACS.

En caso de incumplimiento, el Titular deberá poner en práctica las recomendaciones indicadas en el Apéndice II.

5.8 MANTENIMIENTO

Las instalaciones de calefacción y preparación de agua caliente sanitaria contarán con el servicio de Mantenimiento en las condiciones que fija el RITE.

Los Partes o el Libro de Mantenimiento descritos en el RITE estarán a disposición de los Inspectores, que comprobarán que el mantenimiento realizado cumple con los mínimos exigidos en dicho Reglamento.

En caso de incumplimiento, el Titular deberá tomar las medidas correctoras para que se cumplan los requisitos mínimos exigidos en el plazo máximo de seis meses a partir de la fecha de Inspección.

APÉNDICE I - ZONAS CLIMÁTICAS

Determinación de la zona climática a partir de valores tabulados

La zona climática de cualquier localidad en la que se ubiquen los edificios se obtiene de la tabla A.1, en función

de la diferencia de altura que exista entre dicha localidad y la altura de referencia de la capital de su provincia. Si la diferencia de altura fuese menor de 200 m o la localidad se encontrase a una altura inferior que la de referencia, se tomará, para dicha localidad, la misma zona climática que la que corresponde a la capital de provincia.

TABLA A.1 - ZONAS CLIMÁTICAS

Provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥ 200 < 400	≥ 400 < 600	≥ 600 < 800	≥ 800 < 1000	≥ 1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña (A)	C1	0	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	D2	975	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia-San Sebastián	C1	5	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	C2	1353	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	C3	754	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	D3	708	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	B4	50	B3	C1	C1	D1	D1

TABLA A.1 - ZONAS CLIMÁTICAS (Continuación)

Provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥ 200 < 400	≥ 400 < 600	≥ 600 < 800	≥ 800 < 1000	≥ 1000
Huesca	D2	432	E1	E1	E1	E1	E1
Jaén	C4	436	C3	D2	D1	E1	E1
León	E1	346	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	D2	379	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	D1	412	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	A3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Melilla	A3	130	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	B3	25	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	C2	327	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	D1	722	E1	E1	E1	E1	E1
Palma de Mallorca	B3	1	B3	C1	C1	D1	D1
Palmas de Gran Canaria (Las)	A3	114	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	D1	456	E1	E1	E1	E1	E1
Pontevedra	C1	77	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	D2	770	E1	E1	E1	E1	E1
Santa Cruz de Tenerife	A3	0	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	C1	1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	D2	1013	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	B4	9	B3	C2	C1	D1	E1
Soria	E1	984	E1	E1	E1	E1	E1
Tarragona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1
Teruel	D2	995	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	C4	445	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	B3	8	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	D2	704	E1	E1	E1	E1	E1
Vitoria-Gasteiz	D1	512	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	D2	617	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	D3	207	D2	E1	E1	E1	E1

APÉNDICE II - RECOMENDACIONES TÉCNICAS

Para mejorar la eficiencia energética de las instalaciones de calefacción y producción de agua caliente sanitaria, además del cumplimiento de las medidas de ahorro energético prescritas en la reglamentación vigente (RITE) para instalaciones de nueva planta, es conveniente tener en cuenta las siguientes Recomendaciones Técnicas adicionales:

All.1 Calderas

- All.1.1 Se recomienda la sustitución de la actual caldera por una caldera de condensación.
- All.1.2 Se recomienda la instalación de quemadores modulantes.
- All.1.3 Se recomienda la instalación de recuperadores de energía en la salida de humos de las calderas.

All.1.4 Se recomienda ajustar la potencia máxima de los quemadores para que no lleguen a superar en más de un 10% a la potencia instalada en las unidades terminales.

All.1.5 En instalaciones con varias calderas interconectadas se recomienda la instalación de válvulas motorizadas de cierre estanco, que impidan la circulación de agua y que se mantengan calientes las calderas que se encuentran puntualmente fuera de uso.

All.1.6 En calderas de más de 35 kW se recomienda la instalación de pirostatos en el conducto de humos para el corte del funcionamiento del quemador cuando detecte que la temperatura de los humos exceda la máxima indicada por el fabricante de la caldera.

All.2 Aislamiento térmico

All.2.1 Se recomienda aislar cuerpos de bomba, válvulas, bridas y todos aquellos elementos que puedan perder calor en zonas no calefactadas, incluida la sala de calderas, máxime si la diferencia de temperatura del fluido con el ambiente que le rodea pueda superar los 40 °C.

All.2.2 Se recomienda aumentar el aislamiento de los acumuladores de agua caliente sanitaria hasta 100 mm de espesor.

All.3 Regulación y Control

All.3.1 En instalaciones centralizadas se recomienda la instalación de sistemas de regulación programables y de telegestión, con el fin de poder realizar un mejor seguimiento energético de la instalación.

All.3.2 En instalaciones centralizadas se recomienda la instalación de, al menos, dos sondas de ambiente en el interior del edificio, como complemento de regulación a la sonda exterior y la sonda de impulsión.

All.3.3 Se recomienda que los elementos de regulación de temperatura ambiente estén tarados a una temperatura máxima de 23 °C.

All.3.4 Se recomienda la instalación de sistemas de equilibrado hidráulico, que garanticen que los caudales en los distintos circuitos y elementos terminales sean los adecuados.

All.3.5 Se recomienda la instalación de válvulas termostáticas o cualquier otro sistema de regulación de temperatura en cada dependencia calefactada.

All.4 Contabilización de consumos

All.4.1 Se recomienda que toda instalación térmica que dé servicio a más de un usuario disponga de algún sistema que permita el reparto de los gastos correspondientes a cada servicio (calor y agua caliente sanitaria) entre los diferentes usuarios.

All.4.2 Se recomienda que las instalaciones térmicas de potencia nominal mayor que 70 kW cuenten con dispositivos que permitan efectuar la medición y registro del consumo de combustible y de la energía eléctrica de forma separada al consumo debido a otros usos o servicios del edificio.

All.4.3 Se recomienda que las instalaciones térmicas de potencia nominal mayor que 70 kW cuenten con un dispositivo que permita registrar el número de horas de funcionamiento de cada caldera.

All.4.4 Se recomienda que las bombas de potencia eléctrica del motor mayor que 20 kW cuenten con un dispositivo que permita registrar las horas de funcionamiento del equipo.

All.5 Energía Solar

All.5.1 Se recomienda la instalación de paneles solares térmicos para la producción de agua caliente sanitaria.

All.5.2 Se recomienda la instalación de un intercambiador de calor y un sistema de regulación para aportar energía solar al sistema de calefacción.

All.5.3 Se recomienda que las instalaciones de energía solar estén controladas por un sistema de regulación programable y con telegestión.

All.5.4 Se recomienda la instalación de un contador de energía en el circuito solar.

All.5.5 Se recomienda realizar un seguimiento semanal de la energía solar captada y el cálculo del grado de cobertura de ésta frente a las necesidades de agua caliente sanitaria.

All.5.6 Se recomienda que todos los elementos instalados en el circuito primario de energía solar estén diseñados para soportar temperaturas de, al menos, 140 °C.

All.5.7 Se recomienda instalar un aerotermo o cualquier otro dispositivo que impida que la temperatura del fluido caloportador supere los 110 °C.

All.5.8 Se recomienda la instalación de sistemas de equilibrado hidráulico, que garanticen que los caudales en las baterías de paneles sean los adecuados.

APÉNDICE III - CUESTIONARIO DE INSPECCIÓN PERIÓDICA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE CALDERAS

Datos de la instalación

Titular		Dirección	
<input type="text"/>		<input type="text"/>	
Localidad	Provincia	Cód. Postal	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Persona de contacto	Teléfono	Zona Climática	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

Datos del generador de calor 1

Marca Caldera	Modelo Caldera	Año construc.	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Marca Quemador	Modelo Quemador	Año construc.	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Potencia nominal caldera (kW)	Potencia útil caldera (kW)	Potencia máx. quemador (kW)	Potencia mín. quemador (kW)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Tipo de caldera		Combustible	
<input type="checkbox"/> Estándar <input type="checkbox"/> Baja temp. <input type="checkbox"/> Condensación		<input type="checkbox"/> Gas natural <input type="checkbox"/> GLP <input type="checkbox"/> Gasóleo <input type="checkbox"/> Carbón <input type="text"/> Otro	

Rendimiento del generador de calor 1

CO ₂ (%)	<input type="text"/>	Cumple	<input type="checkbox"/> Sí
CO (ppm)	<input type="text"/>		<input type="checkbox"/> No
Índice Bacharach	<input type="text"/>		
Rendimiento energético (%)		<input type="text"/>	

Datos del generador de calor 2

Marca Caldera	Modelo Caldera	Año construc.	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Marca Quemador	Modelo Quemador	Año construc.	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Potencia nominal caldera (kW)	Potencia útil caldera (kW)	Potencia máx. quemador (kW)	Potencia mín. quemador (kW)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Tipo de caldera		Combustible	
<input type="checkbox"/> Estándar <input type="checkbox"/> Baja temp. <input type="checkbox"/> Condensación		<input type="checkbox"/> Gas natural <input type="checkbox"/> GLP <input type="checkbox"/> Gasóleo <input type="checkbox"/> Carbón <input type="text"/> Otro	

Rendimiento del generador de calor 2

CO ₂ (%)	<input type="text"/>	Cumple	<input type="checkbox"/> Sí
CO (ppm)	<input type="text"/>		<input type="checkbox"/> No
Índice Bacharach	<input type="text"/>		
Rendimiento energético (%)		<input type="text"/>	

Aislamiento tuberías

<input type="checkbox"/> Revisión de todos los tramos visibles de tuberías y equipos en sala de máquinas	Cumple	<input type="checkbox"/> Sí
		<input type="checkbox"/> No

Mantenimiento

<input type="checkbox"/> Revisión de Partes y/o Libro de Mantenimiento	Cumple	<input type="checkbox"/> Sí
		<input type="checkbox"/> No

Datos de Inspección

Realizada por	Fecha inspección	Cumple	<input type="checkbox"/> Sí
Empresa	Fecha anterior insp.		<input type="checkbox"/> No
	Período analizado		

APÉNDICE IV - CUESTIONARIO DE INSPECCIÓN DE INSTALACIONES DE MÁS DE 15 AÑOS

Datos de la instalación		Hoja nº _____ de _____
Titular	Dirección	
Localidad	Provincia	Cód. Postal
Persona de contacto	Teléfono	Zona Climát.
Datos del generador de calor		
Marca Caldera	Modelo Caldera	Año construc.
Marca Quemador	Modelo Quemador	Año construc.
Pot. medida caldera (kW)	Pot. nominal caldera (kW)	Pot. máx. quemador (kW)
		Pot. mín. quemador (kW)
		Falta Placa Caract.
		Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Combustible: <input type="checkbox"/> Gas Natural <input type="checkbox"/> GLP <input type="checkbox"/> Gasóleo <input type="checkbox"/> Fuel <input type="checkbox"/> Carbón <input type="checkbox"/> Otro		
Ratio anual energía consumida por superficie calefactada		
Energía nom. consumida (kWh)	<input type="checkbox"/> Cal. <input type="checkbox"/> Cal. + ACS <input type="checkbox"/> Cal. + ACS + Cocina	Cumple <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Superficie útil calefactada (m ²)	Ratio (kWh/m ²)	
Potencia Radiadores (INDIV), Kw	Valor máx.	
Rendimiento del generador de calor		
Rend. SimulB. Datos IDAE	<input type="checkbox"/>	Cumple <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Rend. Simul. Alternativo	<input type="checkbox"/>	
Fórmula de cálculo:	Instalaciones con contador energía térmica	
Rendimiento combustión (%)	E. térmica útil Caldera 1 (kW)	
Horas funcionamiento (Hf)	E. térmica útil Caldera 2 (kW)	
Pot. med. real produc. (kW)	E. térmica útil Caldera 3 (kW)	
Coefic. Operación (Co)	Suma Total E. Útil (kW)	
Rendimiento Fórm. Cálculo		
Rendimiento global del generador de calor (%) <input type="checkbox"/> ≥ 60%		
Regulación y Control		
Instalación Individual <input type="checkbox"/>	Instalación Colectiva <input type="checkbox"/>	Instalación Colectiva por anillos <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Termostato de ambiente	<input type="checkbox"/> Regul. función temp. exterior	<input type="checkbox"/> Termostato ambiente en viv.
<input type="checkbox"/> Termostato regul. caldera	<input type="checkbox"/> Termostato regul. caldera	<input type="checkbox"/> Sistema individ. del gasto
<input type="checkbox"/> Termostato segur. caldera	<input type="checkbox"/> Termostato por cada llama	
<input type="checkbox"/> Termómetro impul. caldera	<input type="checkbox"/> Regul. modul. quemador	Instalación Colectiva (ACS) <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Reg. Modul. quemador	<input type="checkbox"/> Termostato segur. caldera	<input type="checkbox"/> Termostato regul. ACS
<input type="checkbox"/> Ajuste nec. Térmicas	<input type="checkbox"/> Termómetro impul. caldera	<input type="checkbox"/> Termómetro ACS
	<input type="checkbox"/> Termómetro retorno caldera	<input type="checkbox"/> Contadores ACS en viv.
Aislamiento tuberías		
<input type="checkbox"/> Aplicable	<input type="checkbox"/> No Aplicable	Cumple <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<input type="checkbox"/> Revisión de todos los tramos visibles de tuberías que discurren por locales no calefactados		
Mantenimiento		
<input type="checkbox"/> Certificados revisión anual (Individual)		Cumple <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<input type="checkbox"/> Revisión de Partes y/o Libro de Mantenimiento		
Datos de Inspección		
Realizada por	Fecha inspección	Cumple <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Empresa	Fecha anterior insp.	
	Período analizado	

APÉNDICE V - BIBLIOGRAFÍA

- Directiva 92/42/CE del Consejo de 21 de mayo de 1992 relativa a los requisitos de rendimiento para las calderas nuevas de agua caliente alimentadas con combustibles líquidos o gaseosos (DOCE L 167 de 22.6.1992).
- Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios (DOCE L 1 de 4.1.2003).
- Babor, J.A. e Ibarz Aznárez, J. *Química General Moderna*. 7ª edición en castellano.
- Colombo, G. *Manual del Ingeniero Civil e Industrial*. 1ª Edición en Castellano 1961, traducción de la 80ª edición italiana.
- Centro de Estudios de la Energía. *Técnicas de Conservación Energética en la Industria*. Ministerio de Industria y Energía. 1982.
- IDAE. *Uso eficiente de energía en calderas y redes de fluidos*. 1988.
- Forum Atómico Español. *El libro de la Energía*. 3ª Edición. 1992.
- ASHRAE Handbook. *Fundamentals*. 1993.
- Reknagel-Sprenger-Hönmann. *Manual Técnico de Calefacción y Aire Acondicionado*. Tomo I. (Traducción de la 65ª edición alemana). 1993.
- Irving Deutsch. *Tecnología del gas*. Editorial Blume. 1972.
- Viti, A. y otros. *Manual sobre calderas de alto rendimiento y su aplicación al sector de la edificación*. IDAE. 1996.
- Pozo, P.J. *DTIE 10.03 Calderas Individuales*. ATECYR. 1998.
- <http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tablas-Tema-3.pdf>.

Títulos publicados de la serie "Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización"

Guía nº 1:

Guía técnica.
Mantenimiento de instalaciones térmicas

Guía nº 2:

Guía técnica.
Procedimientos para la determinación del rendimiento energético de plantas enfriadoras de agua y equipos autónomos de tratamiento de aire

Guía nº 3:

Guía técnica.
Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos.
Incluye CD-ROM con programa AISLAM

Guía nº 4:

Guía técnica.
Torres de refrigeración

Guía nº 5:

Guía técnica.
Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas

IDAE Instituto para la
Diversificación y
Ahorro de la Energía

c/ Madera, 8 - 28004 Madrid
Tel.: 91 456 49 00. Fax: 91 523 04 14
comunicacion@idae.es
www.idae.es



P.V.P.: 20 € (IVA incluido)